

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«На правах рукопису»

«До захисту допущено»

УДК _____

Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

" ____ " _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних і
нафтопереробних виробництв»

на тему: **Процес регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі**

Виконав: студент VI курсу групи ЛН-61м

Симан Іван Володимирович

(підпис)

Науковий керівник: канд. техн. наук, Гулієнко С.В.

(підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.

(підпис)

Розроблення стартап-проекту

канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь, прізвище і ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь, прізвище і ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ І.В. Симан

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних і нафтопереробних виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

«___» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

студенту Симану Івану Володимировичу

1. Тема дисертації: «Процес регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі».

Науковий керівник: Гулієнко Сергій Валерійович, к.т.н

затверджена наказом по університету від «21» березня 2018 р. № 979-с.

2. Термін здачі студентом дисертації: 1 червня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: процеси перенесення в системі рідина – тверде тіло.

4. Предмет дослідження: параметри пульсації, а саме: маса промивного розчину, час витримки та кількість пульсацій.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- обґрунтувати фізичну модель процесу вилучення осадів в умовах пульсації;

- скласти математичну модель процесів масообміну в стіснених умовах в умовах пульсації при регенерації рулонованих мембранних модулів;
- розробити методику експериментальних досліджень в умовах пульсації та вдосконалити експериментальні стенди для перевірки фізичної та математичної моделі процесу;
- Отримати розв'язок математичної моделі з використанням методу Рунге-Кутта з адаптивним кроком;
- Експериментально визначити вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації спіральних мембранних модулів;
- Визначити параметри пульсації, за яких регенерація відбувається найбільш ефективно;

6. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація магістерської дисертації, складальне креслення на форматі A1

7. Перелік публікацій: основний зміст дисертаційної роботи викладено в 7-ми опублікованих роботах у тому числі: двох статтях у наукових фахових виданнях України; чотирьох публікаціях тез доповідей міжнародних конференцій та наукових семінарах; одна заявка на патент на корисну модель України.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.		
Розроблення стартап проекту	канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.		

9. Дата видачі завдання 09 вересня 2016 р.

Завдання прийняв до виконання

(підпис) **І.В. Симан**

Науковий керівник дисертації

(підпис) **С.В. Гулієнко**

РЕФЕРАТ

УДК 628.16.081

Магістерська дисертація на тему: «Процес регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі» / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник С.В. Гулієнко. – К., 2018. – с. Виконавець – І.В. Симан.

Об'єкт дослідження: процеси перенесення в системі рідина – тверде тіло.

Предмет дослідження: параметри пульсації

Метою роботи є встановлення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації спіральних рулонованих модулів

Обґрунтовано фізичну модель процесу розчинення осадів в умовах пульсації

Розвинено математичну модель процесів масообміну в стиснених умовах в умовах пульсації при регенерації рулонованих мембранних модулів

Отримано розв'язок математичної моделі методом Рунге-Кутта з використанням адаптивного кроку. Встановлено, що ці методи рівноцінні.

Проведено експериментальні дослідження регенерації рулонованих мембранних модулів в умовах пульсації та визначено вплив параметрів пульсації

Встановлено раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні

На основі результатів наукових досліджень запропоновано найбільш раціональні режими проведення регенерації.

Запропоновано вдосконалений спосіб регенерації спіральних мембранних модулів.

МЕМБРАННЕ РОЗДІЛЕННЯ, КОНЦЕНТРАЦІЙНА ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ОПІР, РЕГЕНЕРАЦІЯ, ОСАД.

РЕФЕРАТ

УДК 628.16.081

Магистерская диссертация на тему: «Процесс регенерации мембранных модулей в пульсационном режиме» / НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского »;
Руководитель С.В. Гулиенко. - М., 2018. - с. Исполнитель - И.В. Симан.

Объект исследования: процессы переноса в системе жидкость - твердое тело.

Предмет исследования: параметры пульсации

Целью работы является установление влияния параметров пульсации на эффективность регенерации спиральных рулонных модулей

Обоснованно физическую модель процесса растворения осадков в условиях пульсации

Развита математическую модель процессов массообмена в стесненных условиях в условиях пульсации при регенерации рулонных мембранных модулей

Получено решение математической модели методом Рунге-Кутты с использованием адаптивного шага. Установлено, что эти методы равноценны.

Проведены экспериментальные исследования регенерации рулонных мембранных модулей в условиях пульсации и определено влияние параметров пульсации

Установлено рациональные режимы проведения процесса регенерации, которые будут отвечать высоким значением массы промывочного раствора, что набирается за один цикл пульсации, и количества циклов пульсации, и меньшим значением продолжительности выдержки при разрежении

На основе результатов научных исследований предложены наиболее рациональные режимы проведения регенерации.

Предложено усовершенствованный способ регенерации спиральных мембранных модулей.

МЕМБРАННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ, КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ, СОПРОТИВЛЕНИЕ, РЕГЕНЕРАЦИЯ, ОСАДОК

THE ABSTRACT

UDC 628.16.081

Master's thesis on the topic: "The regeneration process of membrane modules in pulsation mode" made in National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky "Kyiv Polytechnic Institute"; Scientific advisor S. Hulienko - K., 2018. - p. The performer – I/ Syman

Object of research: processes of transfer in the system of a liquid - a solid.

Subject of research: parameters of pulsation

The purpose of the work is to determine the effect of the pulsation parameters on the efficiency of regeneration of spiral coiled modules

The physical model of sediment dissolution process under the conditions of pulsation is substantiated

The mathematical model of processes of mass transfer under the conditions of pulsation during regeneration of reeled membrane modules is developed.

The solution of mathematical model by Runge-Kutta method using an adaptive step is obtained. It is found that these methods are equivalent.

Experimental studies of regeneration of reeled membrane modules in the conditions of pulsation have been carried out and the influence of the pulsation parameters has been determined.

The rational regimes of the process of regeneration are established that will correspond to the higher values of the mass of the washing solution that is recruited during one cycle of ripple and the number of cycles of ripple and the lower value of the duration of exposure to dilution

Based on the results of scientific research, the most rational modes of regeneration are proposed.

An improved way of regenerating spiral membrane modules is proposed.

MEMBRANE SEPARATION, CONCENTRATION POLARIZATION, RESISTANCE, REGENERATION FOULING, SLUDGE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	11
ВСТУП	13
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
1.1 Класифікація мембран	16
1.2 Забруднення мембран	20
1.3. Методи очищення мембран	22
1.4. Висновки	33
1.5. Мета та задачі дослідження	34
2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАСООБМІНУ ПРИ ВИДАЛЕННІ ОСАДІВ З РУЛОНОВАНИХ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ	35
2.1. Фізична модель процесу регенерації забруднених рулонованих модулів з використанням пульсацій.....	35
2.2 Математична модель процесу видалення осаду	37
2.3 Методика розв’язання математичної моделі.....	39
2.4 Результати розрахунків за математичною моделлю	41
2.5 Висновки	43
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ РЕЖИМІ	44
3.1 Опис експериментальної установки.....	44
3.2 Результати експериментальних досліджень.....	49
3.3 Узагальнення результатів.....	52
3.4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	54
3.4.1 Повітря робочої зони	55
3.4.2 Небезпека ураження електричним струмом.....	57
3.4.3 Виробничий шум та вібрації.....	58
3.4.4 Пожежна безпека та надзвичайні ситуації	63
3.5 Висновки	65
4. ОБГРУНТУВАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	66
4.1 Вступ.....	66
4.2 Алгоритм розрахунку часу вилучення осаду	68
4.3 Висновки	72

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	73
5.1. Опис ідеї проекту	73
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	74
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	75
5.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером	79
5.5 Розроблення ринкової стратегії ринку	82
5.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	84
5.7 Висновки	87
ВИСНОВКИ.....	88
ВЫВОДЫ.....	89
CONCLUSIONS	90
ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	92
ДОДАТОК А.....	99
ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ	99
ДОДАТОК Б.	104
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ	104
ДОДАТОК В	107
КОПІЇ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ	107
ДОДАТОК Д.....	122
РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ	122
ДОДАТОК Е	132
СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ	132

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення:

C – концентрація, кг/м^3 ;

C_f – концентрація розчинених речовин в розчині, кг/м^3 ;

C_p – концентрація розчинених речовин в пермеаті, кг/м^3 ;

C_p – рівноважна концентрація розчинених речовин в промивному розчині, кг/м^3 ;

C_0 – початкова концентрація розчинених речовин в промивному розчині, кг/м^3 ;

C_l – середня концентрація розчинених речовин в промивному розчині, кг/м^3 ;

d_e – еквівалентний діаметр, м;

D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

F – площа поверхні мембрани, м^2 ;

J – потік речовини через мембрану, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

J_0 – потік речовини через мембрану очищеного модуля, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

J_f – потік речовини через забруднений модуль, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

J_p – потік речовини через мембрану модуля, після регенерації $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

K – коефіцієнт перенесення маси, м/с ;

L – довжина мембранного модуля, м;

M – маса розчиненого осаду, кг;

M_{Π} – початкова маса осаду, кг;

p – тиск, МПа

R – коефіцієнт розділення;

R_c – опір шару забруднень, м^{-1} ;

R_{cp} – опір шару зконцентраційної поляризації, м^{-1} ;

R_m – опір мембрани, м^{-1} ;

R_T – загальний опір перенесенню речовини через мембрану, м^{-1} ;

S – площа поперечного перерізу каналу рулонованого мембранного модуля, м^2 ;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

V – об'єм промивного розчину, м^3 ;

V_C – об'ємна витрата промивного розчину, $\text{м}^3/\text{с}$;

W – швидкість руху рідини в каналах мембранного модуля, $\text{м}/\text{с}$;

Грецькі символи:

α – питомий опір шару забруднень, м^{-2} ;

δ – товщина шару забруднень, м ;

Δ – перепад, різниця;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$;

π – осмотичний тиск, МПа ;

τ – тривалість регенерації, с ;

ψ – коефіцієнт регенерації.

Критерії (числа) подібності:

Re – критерій Рейнольдса;

Sc – критерій Шмідта;

Sh – критерій Шервуда.

ВСТУП

Актуальність теми.

Сьогодні у всьому світі мембранні методи очищення стічних вод вже не викликають сумнівів у своїй ефективності і конкурентоспроможності. Безліч закордонних компаній виробляють різноманітні мембрани, мембранні модулі і установки очищення природної і стічної води на їх основі.

В процесі зворотного осмосу з часом відбувається забруднення мембран осіданнями зважених часток і погано розчинних сполук. Це призводить до зниження питомої продуктивності мембранної поверхні. Причиною цього являється виникнення біля поверхні мембрани, з напірного боку, концентраційного поляризаційного шару, що перешкоджає проходженню фільтрату крізь мембрану.

Утворення осаду є однією з найбільших проблем при використанні мембран. Відповідно мембрани потрібно регенерувати. Отже тема роботи є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська робота виконувалася відповідно до плану наукової роботи кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є встановлення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації спіральних рулонованих модулів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані задачі дослідження:

- обґрунтувати фізичну модель процесу вилучення осадів в умовах пульсації;
- скласти математичну модель процесів масообміну в стиснених умовах в умовах пульсації при регенерації рулонованих мембранних модулів;

- розробити методику експериментальних досліджень в умовах пульсації та вдосконалити експериментальні стенди для перевірки фізичної та математичної моделі процесу;

- Отримати розв'язок математичної моделі з використанням методу Рунге-Кутта з адаптивним кроком;

- Експериментально визначити вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації спіральних мембранних модулів;

- Визначити параметри пульсації, за яких регенерація відбувається найбільш ефективно;

Об'єкт дослідження – процеси перенесення в системі рідина – тверде тіло

Предмет дослідження – параметри пульсації, а саме: маса промивного розчину, час витримки та кількість пульсацій

Методи дослідження. Фізичне та математичне моделювання, розв'язок диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутта з адаптивним кроком, експериментальні методи: метод пасивного експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Отримали подальший розвиток уявлення про процеси перенесення маси при регенерації спіральних мембранних модулів.

- Експериментально підтверджено ефективність регенерації в пульсаційному режимі.

- Встановлено вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації.

- На основі результатів наукових досліджень запропоновано найбільш раціональні режими проведення регенерації.

- Запропоновано вдосконалений спосіб регенерації спіральних мембранних модулів.

Особистий внесок здобувача полягає в постановці задач дослідження, вдосконаленні експериментального стенду, проведенні експериментальних досліджень, обробка результатів експериментів, розв'язку математичної моделі.

Апробація результатів досліджень. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на XI міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», XII міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», XIII міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», XIV міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».

Публікації. 7 друкованих праць, з них 2 статті у фахових виданнях, заявка на патент України на корисну модель, 4 тези доповіді в збірниках матеріалів конференцій.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Класифікація мембран

Сьогодні ефективність та конкурентоспроможність мембранних методів очищення стічних вод більше не ставляться під сумнів в усьому світі. Багато іноземних компаній виробляють різні мембрани, мембранні модулі та установки для очищення природних і стічних вод на їх основі.

Системи мембранної очистки води, промислове освоєння яких почалося приблизно з 1970 року, тепер використовуються практично у всіх галузях.

Мембранні технології відносяться до категорії ресурсозберігаючих технологій, використання яких дозволяє підвищити якість скинутих стічних вод, зменшити кількість викидів забруднюючих речовин в водосховище і звести до мінімуму забруднення природних вод через можливість повторного використання очищених стічних вод в закритих систем водопостачання.

Широке використання мембранних методів в багатьох промислових процесах можливо завдяки тому, що властивості мембрани можуть бути адаптовані до технічних вимог, задоволення яких необхідне для успішного проведення цих процесів [1-8].

Мембрани, що використовуються в різних мембранних процесах, можна класифікувати за різними ознаками.

Найпростіша класифікація всіх мембран - природні (біологічні) і синтетичні, які, в свою чергу, поділяються на різні підкласи, засновані на властивостях матеріалу (рисунок. 1.1) [9].

Методи мембранного розділення розрізняються за типами використовуваних мембран, рушійним силам, які підтримують процеси, а також сфери їх застосування.

Рушійною силою в процесі поділу, яка змушує рідину проходити через перешкоду у вигляді тонкої перегородки (мембрани), може бути [5]:

- різниця тисків - баромембранні процеси;

- різниця концентрацій розчинених у воді речовин - дифузійні процеси;
- різниця температур по обидві сторони перегородки - термомембранні процеси;
- електрорушійна сила (різниця електрохімічних потенціалів) - електромембранні процеси.

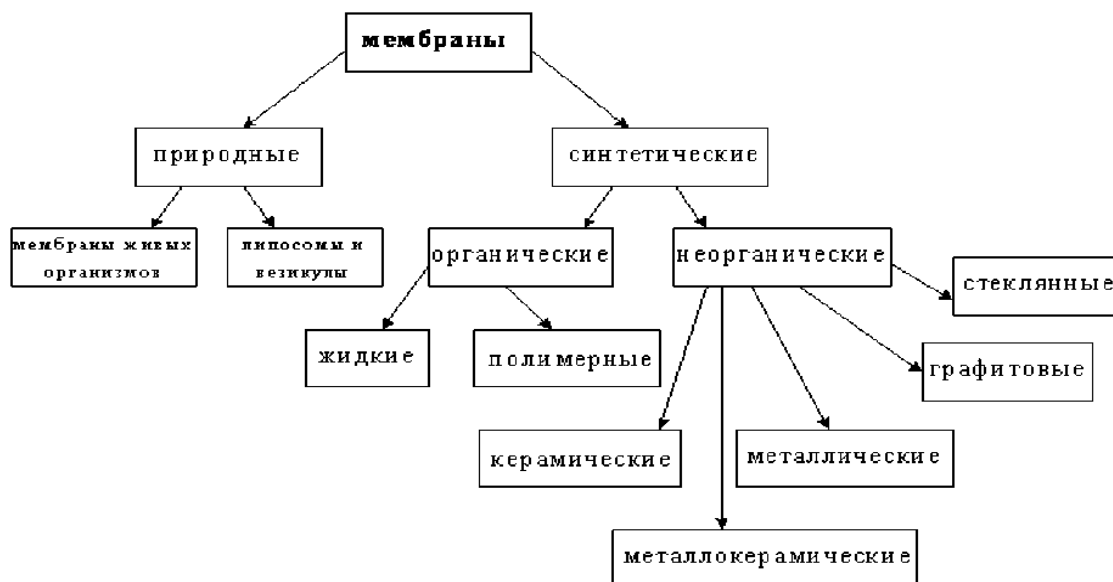


Рисунок 1.1. Класифікація мембран за матеріалами і походженням

Найбільш поширеними були мембранні процеси, що виникають під дією тиску (баромембранні процеси).

Мембрани, які використовуються в цих процесах, можна розділити на 4 типи, залежно від розміру пор і розміру утримуваних часток: зворотноосматичні, нанофільтраційні, ультрафільтраційні і мікрофільтраційні.

Розмір пор мембрани зростає від зворотного осмосу до мікрофільтрації, що означає, що розмір максимального розміру утримуваних часток на поверхні робочого шару мембрани збільшується. Більш того, чим більше розмір пор мембрани, тим нижче опір, яке вона чинить потоку, і менший тиск потрібно для забезпечення процесу мембранного розділення [10].

Зворотноосматичні мембрани є найбільш селективними і ефективними відповідно до коефіцієнту розділення розчинів. У них найменші пори. Крім того, існують теорії, які вважають мембрани зворотного осмосу непористими. Середній відсоток затримань мембранами зворотного осмосу становить 97-99%

всіх розчинених речовин [11]. Вони використовуються в харчовій промисловості, фармацевтичній промисловості, комунальних системах, а також в багатьох виробничих процесах, де існує потреба в воді високої якості. Як правило, вони є завершальною стадією очищення природних і стічних вод.

До пристроїв для реалізації баромембранних процесів в промисловому масштабі встановлюються вимоги, що визначаються можливістю їх виробництва і умов експлуатації [12]. Апарат для проведення баромембранних процесів повинен мати велику поверхню мембран на одиницю об'єму пристрою і бути простим при складанні та встановленні з урахуванням необхідності періодичної зміни мембран. При переміщенні в перетинах і елементах пристрою рідина повинна бути рівномірно розподілена по поверхні мембрани і мати досить високу швидкість потоку, щоб зменшити вплив концентраційної поляризації. Падіння тиску в пристрої має бути, по можливості, невеликим. Потрібні виконання всіх вимог, пов'язаних з роботою пристрою при високому тиску: механічна міцність, герметичність і т. д. Для кожного конкретного процесу поділу слід вибрати конструкцію, яка забезпечує найбільш вигідні умови для цього конкретного процесу. Виділяти основні типи пристроїв за способом укладання мембран:

- «фільтрувальний прес» з плоскими елементами, що фільтрують;
- з трубчастими елементами, що фільтрують;
- з рулонними або спіральними фільтруючими елементами;
- З мембранами у вигляді порожнистих волокон.

Плоскокамерні: мембранний елемент складається з двох плоских мембран з відстанню 1,5-5,0 мм між ними. У цьому проміжку знаходиться пористий або сітчастий дренажний матеріал. Щільність упаковки мембран (поверхню на одиницю об'єму апарату) низька і становить 60-300 м²/м³. Тому пристрої такого типу мають низьку продуктивність. Вони використовуються там, де висока продуктивність не потрібно

Трубчасті пристрої складаються з пористих труб діаметром 5-20 мм.

Матеріал, який служить в якості мембрани, наносять на поверхню трубки (внутрішньої або зовнішньої). Щільність упаковки в цьому типі апаратів також мала: $60\text{--}200\text{ м}^2/\text{м}^3$.

Рулонні: мембранний елемент має форму упаковки, три краї якої герметизовані, а четвертий прикріплений до перфорованої трубки для видалення очищеної води - пермеату.

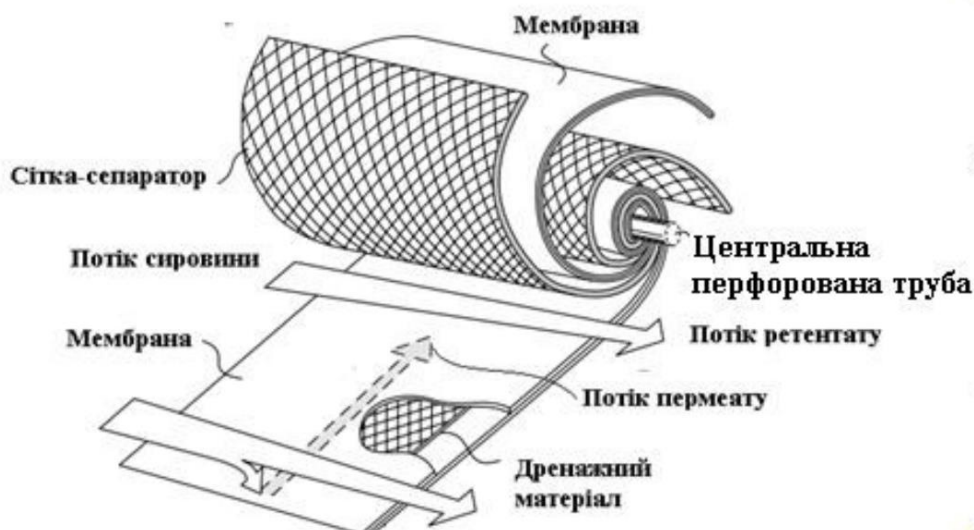


Рисунок 1.2 - Схема рулонового модуля [14]

По колу трубки таких пакетів декілька, всі вони разом з сітками намотуються на трубку. Відокремлена вода переміщається в подовжньому напрямі через міжмембранні канали, а пермеат надходить у вихідний отвір. Найбільш поширена конструкція мембранного модуля (рис. 1.2 [14]).

Перевагою таких модулів є висока питома поверхня мембран (до $1000\text{ м}^2/\text{м}^3$), а також простота і надійність в роботі і можливість регенерації [5]. Діаметр побутових модулів (рисунок . 1.3 в) становить $0,0455\text{ м}$ ($1,75$ дюйма), довжина напірного каналу $0,26\text{ м}$, висота напірного каналу $0,35 \cdot 10^{-3}\text{ м}$. Для промислових (рисунок . 1.3 а) діаметр може досягати $0,25\text{ м}$, довжина становить $1,5\text{ м}$, а висота напірного каналу - $0,001\text{ м}$ [14].



Рисунок 1.3 - Рулонні мембранні модулі:
(а) промислових, (б) домашніх господарств [14]

Апарат з рулонними мембранними елементами використовується головним чином для середнього і великого виробництва.

Порожнисто-волокнисті: мембранний елемент має форму порожнистого волокна. Апарат являє собою циліндр, заповнений пучком з пористих порожнистих волокон з зовнішнім діаметром 80-100 мкм і товщиною стінки 15-30 мкм. Забруднена вода оромиває зовнішню поверхню волокна, а пермеат відводиться по його внутрішньому каналі. При дуже високій щільності упаковки - до 20 000 м² / м³ ці пристрої широко використовуються в опріснювальних установках, наприклад, при прийомі питної води з морської води і розсолів. Однак при роботі з такими модулями спостерігається нерівномірність упаковки волокон, що призводить до зменшення ефективної поверхні [14-16]. Крім того, їх вартість більш ніж у два рази перевищує вартість рулонованих, і вони не можуть бути відновлені.

1.2 Забруднення мембран

В процесі зворотного осмосу з часом забруднення мембрани відбувається шляхом осадження зважених часток і слабозчинних з'єднань. Це призводить до зниження питомої продуктивності поверхні мембрани. Причиною цього є

поява на поверхні мембрани з напірного боку концентраційного поляризаційного шару, який перешкоджає протіканню фільтрату через мембрану [17]. Механічні і колоїдні частинки в таких умовах мають тенденцію консолідуватися і утворювати агрегати, які можуть осідати на мембрані, блокуючи її. Неконтрольований процес накопичення таких осадів при неправильній експлуатації установки може швидко привести до необоротного погіршення характеристик мембранного апарату [18, 19].

Зокрема, як показано в [19], зниження продуктивності мембранної установки на 95-97% визначається забрудненням поверхні мембран і тільки на 3-5% ущільненням їх капілярно-пористої структури. Найбільш поширеними типами осадів, як показано в статтях [18, 19], є мінеральні осади, гідроксиди металів, колоїдні плівки органічного і біологічного походження, які можуть бути локалізовані в різних частинах мембранного блоку [20]. Причини забруднення мембрани визначаються фізичними, хімічними і поверхневими властивостями самої мембрани і частинок осаду. У деяких роботах говориться про комплексний склад забруднення промислових установок зворотного осмосу.

Однією з основних причин забруднення мембрани є утворення на їх поверхні карбонатних осадів, утворення яких визначається умовами рівноваги, швидкістю масопереносу при кристалізації і наявністю домішок. [19]

У разі полімерних мембран ступінь забруднення, на яку впливають властивості мембран, в першу чергу, морфологія полімеру і поверхнева гідрофільність. Зокрема, було встановлено, що гідрофобні мембрани менш сприйнятливі до забруднення, що знижує вплив забруднення через модифікації мембран [19].

Для різних випадків забруднень розроблені більш докладні механізми їх утворення, а також способи оцінювання схильності розчину до забруднення, передбачення утворення осадів на поверхні мембрани та засоби виміру характеристик забруднення [20].

Щоб знизити швидкість забруднення, розчини піддають попередній обробці перед подачею в мембранний апарат: коагулюють з подальшим

осадженням, фільтрують на піщаному фільтрі, а потім в мікрофільтрі, підкислюють розчин, щоб запобігти випаданню солей і т.д. Однак рано чи пізно необхідно очистити мембрану від забруднення. Якщо попередня обробка стоку була високоефективною (в порівнянні зі зворотним осмосом), то очищення мембрани може проводитися один раз на місяць і навіть рідше, в інших випадках (коли на додаток до фільтрів нічого не використовується) це може бути один раз в тиждень. Про необхідність очищення мембрани можна судити по зниженню продуктивності або зростання гідравлічного опору модулів. Наприклад, рекомендуються чистити рулоновані модулі, коли їх продуктивність зменшується на 20% або перепад тиску в каналі модуля збільшується в 1,5 рази в порівнянні з вихідним значенням [21]. Однак в деяких випадках в разі порушення регулярних термінів очищення мембранних модулів з концентраційного поляризаційного шару на поверхню мембрани випадає осад, що забиває пори. У цих випадках видалення його дуже дороге. [22]

1.3. Методи очищення мембран

Розрізняють такі групи способів регенерації мембран: механічні, гідродинамічні, фізичні, хімічні і комбіновані, які включають частково прийоми перших чотирьох методів [23, 24].

Механічні способи регенерації мембран можна використовувати тільки в тих випадках, коли відкладення (осади) мають низьку адгезію до поверхні мембрани і мають гелеподібну або пухку структуру, а самі мембрани, як правило, є трубчастими. Суть механічних методів полягає в тому, що поряд з потоком рідини в напірний канал мембранного апарату вводяться еластичні губчасті полімерні кулі, які очищають забруднюючі речовини, які утворюються. Передумовою для використання таких куль є те, що їх діаметр повинен бути значно більше (в 1,1-4 рази) діаметра трубки, в якій вони рухаються [23].

При утворенні відкладень, що мають значну спорідненість до поверхні мембрани, використання чисто механічного методу їх очищення неефективно. У таких випадках, як правило, використовується комбінація механічного очищення з хімічним (кислота, луг, поверхнево-активна речовина і т. Д.) [24].

Незважаючи на очевидну ефективність і простоту механічних методів очищення, вони мають ряд суттєвих обмежень і недоліків. Зокрема, як уже згадувалося, їх можна використовувати тільки в трубчастих, а в деяких випадках і в плоскокамерних пристроях [14], тобто вони не можуть бути використані в апаратах зворотного осмосу, які мають різну конструкцію.

Основною умовою ефективного використання кульок для механічного очищення трубчастих мембран є їх рівномірне розподілення в напірних каналах мембранного модуля, що вимагає створення спеціальних, досить складних пристроїв, які повинні працювати в автоматичному режимі. Це не виключає блокування каналів кулями і різких коливань зі збільшенням тиску в обладнанні. Крім того, використання механічних методів очищення в поєднується з потенційною небезпекою порушення тонкодисперсного шару мембрани [23].

Для запобігання утворенню відкладень з високою спорідненістю до поверхні мембран перспективно досліджувати створення мембран з антиадгезійними властивостями по відношенню до основних забруднень цього типу мембран і процесів. На жаль, робота в цьому напрямку все ще перебуває в зародковому стані.

Іншим способом, що полегшує використання механічних методів очищення мембран, слід вважати використання алювіальних шарів або динамічних мембран шляхом введення дисперсних добавок в розчинений розчин. Він легко видаляє з поверхні мембрани забруднений рухливий динамічний шар з наступним нанесенням нового шару (реформація мембран) [25].

Гідродинамічні способи очищення включають в себе змив сильним струменем води, газорідною емульсією, пульсуючим потоком, зворотне промивання пермеатом. із напірного каналу концентраційного поляризаційного

шару. Те ж саме відноситься до методу, який представляє собою різке падіння тиску, використовуваного в деяких типах мембранних апаратів. В цьому випадку мембрана розширюється, і в той же час відбувається осмотичний потік з боку пермеату, що призводить до відриву забруднення від мембрани. Після цього, вони вимиваються з пристрою сильним потоком води в напірному каналі. На практиці найбільш широко використовуваним методом є промивка напірного каналу модулів сильним потоком води. Це найпростіший спосіб використання гідродинамічних методів очищення. Промивна вода, в якості якої часто використовується сам розчин який розділяється, прокачується швидше через мембранний апарат при низькому тиску. Чим вище швидкість, тим краще. Обмеженням є лише допустимий перепад тиску для модуля, який може стати занадто великим через гідравлічний опір. Для рулонованих модулів значення різниці тисків в напірному каналі становить близько 0,2 МПа. [26].

Подача на напірний канал газорідної емульсії може бути більш ефективним ніж промивки сильним струменем, але її складніше організувати і дорожче, тому її рідко використовують на практиці. При подачі в напірний канал пульсуючого потоку існують гідравлічні удари, які сприяють відшаруванню відкладень з мембрани [22]. Цей метод є прийнятним в таких конструкціях машин зворотного осмосу, де мембрана, підкладка і опори, які протидіють тиску, міцно пов'язані один з одним і утворюють єдиний блок. В іншому випадку мембрана швидко вийде з ладу.

У разі зворотного промивання пермеат закачується в мембрану, проходить через нього в напрямку, протилежному нормальному, і надходить в напірний канал. Це видаляє бруд з пор мембрани і розшаровує осади, які перекривають пори. Цей метод можна також використовувати тільки в таких структурах, де мембрана, підкладка і опори утворюють єдине ціле [27].

У порівнянні з хімічними методами обробки гідродинамічні набагато простіше і дешевше. На жаль, вони можуть видалити тільки концентраційний поляризаційний шар, який не пов'язаний з мембраною [28].

Суть фізичних методів регенерації полягає в впливі на мембрану електричних і магнітних полів, ультразвуку, п'єзоелектричних коливань, а також під час мембранного процесу в умовах дії відцентрових сил [23]. У наш час фізичні методи очищення перебувають в стадії експериментального дослідження.

Відомі також хімічні способи регенерації мембран. Ефективність хімічних методів очищення мембран залежить від ряду факторів: типу і хімічної стійкості мембран, типу і структури забруднюючих речовин, складу промивного розчину і умов регенерації [23 - 28].

Як компоненти промивних розчинів використовуються різні класи речовин: мінеральні та органічні кислоти, альдегіди, луги, поверхнево-активні речовини, ферменти, солі фосфорних кислот, пероксид водню і т. Д. Слід зазначити, що як конкретні способи регенерації, так і склад миючих розчинів майже завжди підлягають патентуванню та не публікуються в науковій літературі. Аналіз наявних патентних даних, що містяться в науково-технічній літературі, дозволяє групувати миючі розчини згідно з класами забруднюючих речовин [23].

Таким чином, для видалення щільних мінеральних осадів основними компонентами промивних розчинів є органічні і мінеральні кислоти (щавлева, лимонна, хлоридна, сульфатна), які розчиняють солі кальцію і заліза. Найважче видалити силікати, оксиди і гідроксиди металів, в яких використовуються розчини, які містять фосфатну кислоту, фторид натрію або амонію і поверхнево-активні речовини (аніонні та нейоногенних) [29].

У разі органічних і мікробіологічних забруднень, які особливо характерні для мікро- й ультрафільтрації природних розчинів, соків, білкових бульйонів, молока і молочних продуктів, в якості основних компонентів промивних розчинів використовуються органічні кислоти (щавлева, лимонна), низькоконцентровані розчини соди або гідроксиду натрію, амфотерні або катіонні ПАВ. У дезінфікуючі розчини додають пероксид водню, формальдегід, гіпохлорит натрію, бурштинову кислоту і т. д., а для запобігання біообростанню

мембран додають гідроген пероксид, йод, натрій або амоній персульфат. [29]. Для очищення мембран, забруднених макромолекулярних білковими сполуками, до складу очищувальних розчинів вводять полісахариди, ферменти або ферменти [23]. Можна також іммобілізувати їх на поверхні мембран, щоб запобігти або зменшити їх забруднення білками і полісахаридами через біокаталітичні розщеплення останнього.

Для видалення багатокomпонентних забруднювачів, в тому числі мінеральних і органічних речовин, розроблені спеціальні склади промивних розчинів, які дозволяють значно відновити функціональні характеристики мембран [23]. Такі композиції включають: фосфати, фосфорну кислоту, оксикарбонові або сульфамінові кислоти і нейоногенний детергент, що не піниться). Рецепти розроблених хімічних реагентів повинні бути обов'язково неактивними для мембранного матеріалу, оскільки їх дія може привести до пошкодження структури пор, зміни селективності та фізико-механічними властивостями мембран.

Для регенерації хімічними методами можна використовувати як традиційні хімічні реагенти, так і спеціальні хімічні препарати. В цьому випадку ефективність різних типів реагентів залежить від типу речовин. Для деяких типів осадів лужні розчини більш ефективні, тоді в інших випадках більш ефективні кислотні розчини чи ферментовані препарати. У деяких випадках комбінації розчинів для промивки більш ефективні. Вибір миючого засобу та його концентрація повинні враховувати хімічну стійкість мембран, так як реакція між матеріалом мембрани і миючим засобом призводить до руйнування активного шару мембрани. Крім того, до порушення структури мембрани можуть призвести затримки в проведенні хімічного полоскання через мікробіологічну активність. Було запропоновано ряд комплексних підходів, які включали налагодження системи попередньої обробки і промивання, а також процедуру промивання з видаленням окремих компонентів забруднюючого шару. [14].

Регенерацію мембран рекомендують проводити в дві стадії: очищення мембран реагентами від забруднень і обробка спеціальними реагентами, які

забезпечують фінальне відновлення характеристик мембрани. Останній складається з полімерів (полівінілхлорид, кополімер вінілацетату з малеїновим ангідридом і т. д.) [23]. Двоступенева регенерація мембран здійснюється в циркулюючому режимі.

Накопичений багаторічний досвід хімічної регенерації різних мембран дозволив фірмам-розробникам пропонувати хімічні реагенти визначені за складом і рецепти їх виробництва, для видалення різних типів забруднюючих речовин. Прикладом можуть служити рекомендації DuPont (США) щодо хімічної регенерації поліамідних мембран В10 [29, 30].

Однією з важливих проблем регенерації мембран хімічними методами є їх руйнування, особливо під впливом окислювачів (хлор, озон і т. д.). Крім того, в разі регенерації заряджених мембран виключається використання детергентів та інших йоногенних органічних речовин з протилежним знаком заряду, тому що це призводить до зникнення заряду і необоротного забруднення мембран через утворення сольових поверхневих сполук. Також важливо уникати компонентів промивних реагентів, в присутності яких відбувається розчинення або набухання мембран. Слід зазначити, що хімічні методи мають найбільший вплив в поєднанні з іншими способами регенерації, перш за все механічними.

Для досягнення високої ефективності регенерації мембран хімічними або комбінованими методами необхідно дотримуватися наступних умов і послідовності етапів очищення:

- вибір необхідного розчину миючого засобу з урахуванням характеру і структури забруднюючої речовини і хімічної природи матеріалу мембрани;
- введення реагенту в контакт із забрудненою поверхнею мембрани і забезпечення умов для його рециркуляції для руйнування і розчинення опадів;
- видалення промивного розчину з мембранного апарату і його можлива регенерація або використання;
- відновлення характеристик мембрани (промити чистою водою або спеціальними полімерними розчинами).

Для вивчення науково-технічних аспектів процесу регенерації мембран важливо вивчити топохімію поверхневого забруднення мембрани, складу і структури осаду, а також прямих досліджень поверхні мембрани протягом усього її «життя», особливо після кожної регулярної регенерації.

При проектуванні установок зворотного осмосу вибирати такі способи попереднього очищення обробленого розчину і способи очищення мембран від забруднення, щоб забезпечити мінімальну вартість процесу очищення. Якщо ви заощадите на попередній обробці, то ми обов'язково отримаємо збільшення вартості очистки мембран. Перші промислові установки зворотного осмосу експлуатувалися взагалі без попереднього очищення вихідного розчину, що призводило до повної відмови протягом декількох тижнів (методи очищення мембран від забруднення досі мало вивчені).

У наш час вважається, що оптимальна вартість попереднього очищення повинна становити не менше 40-60% від всіх вхідних витрат на розділення вхідного розчину з використанням зворотного осмосу [31].

Як правило, для проведення хімічної обробки мембран, установка зупиняється, мембрани зворотного осмосу демонтуються і поміщаються в спеціальну очисну машину - установку для хімічної промивки, в якій вони очищаються [14]. Конструкція деяких установок зворотного осмосу дозволяє проводити хімічну очистку мембран без їх демонтажу і використання хімічної прання.

Якщо промислові установки зворотного осмосу об'єднані з попередньою обробкою і хімічні очистки мембран проводяться з періодичністю, рекомендованою виробником установки, термін служби мембран зворотного осмосу може становити 3-4 роки [26]. Для захисту мембран від відкладень різних забруднюючих речовин використовується спеціальна речовина - антискалант. Антискалант вводиться в воду, що подається на осмос в невеликій кількості (близько 5 г на 1 м³). Він надходить з водою на осмос і утворює тонку плівку на поверхні мембран зворотного осмосу з вираженими антиадгезійними властивостями. Забруднюючі речовини падають на цю плівку, ковзають по ній

під дією потоку води, що проходить через мембрану, і не можуть бути закріплені на поверхні мембран. Це дозволяє використовувати осмос на антискаланті протягом тривалого часу без проведення хімічних чисток. Антискалант не є отруйним, він складається з суміші високомолекулярних органічних кислот. Він не потрапляє в пермеат, оскільки він не може проходити через мембрану зворотного осмосу.

Добре відомий винахід [32], який забезпечує підвищення ефективності очищення фільтруючого елементу за рахунок усунення поступового забивання, шляхом безперервної або періодичної очистки останнього без порушення режиму основного очищення цього елемента будь-якого середовища (газ або рідина). Метод автоматичного очищення фільтруючого елементу полягає в продувці фільтруючого елемента, щонайменше, середовищем високого тиску. Як прочищаючі середовища використовують щонайменше одне концентроване середовище, яке має більший тиск і / або швидкість, ніж середовище, яке прочищається. У той же час щонайменше одна інша середовище, яке відрізняється за складом і / або станом від першого, застосовується окремо або одночасно з очищаючим середовищем. Спосіб реалізується установкою, яка, щонайменше, включає в себе один трубопровід подачі очищаючого середовища, щонайменше одну опору для фіксації фільтруючого елементу. Відносно апаратів для інженерного захисту навколишнього середовища, які використовують фільтруючі зворотноосмотичні мембрани для очистки стічних вод, недоліком способу являється необхідність у використанні настільки високого перепаду тисків на мембрані, що виникає загроза пошкодження полімерного матеріалу мембрани. Коли потік пермеату падає нижче заданого значення, необхідно очистити і дезінфікувати мембрани. Це робиться за допомогою іонних дезінфікуючих засобів, таких як надоцтова кислота [26]. Незважаючи на прийняту практику очищення, пероксид натрію не може проникати в усі сторони мембрани і повністю дезінфікувати його. В результаті на непроникною стороні мембранного шару бактерії залишаються і продовжують будувати колонії в структурі мембрани. Крім того, надоцтова кислота не надто ефективна для

видалення самої біоплівки (рисунки 1.4). Для цього цикл очищення і дезінфекції повторюється все більше і більше зі збільшенням віку мембрани. В результаті збільшуються прості витрати, витрати на хімічні матеріали і витрати на робочу силу. Багато біоцидів були протестовані на мембранах зворотного осмосу з перемінним успіхом. Сильні окислювачі, такі як хлор, бром і озон руйнують мембрани. Формальдегід та глутаровий альдегід - хороші дезінфікуючі засоби, але вони токсичні та важко змиваються. Дезінфікуючий засіб нового покоління «Dutrion» на основі діоксиду хлору може вирішити проблему біоплівки і, таким чином, не пошкодити мембрану. Діоксид хлору нейтральний по відношенню до матеріалів, з яких виготовлені мембрани. Практика показує, що концентрація діоксиду хлору в воді з регулярним використанням достатня в межах 0,1-0,2 мг / л [26]. Сучасна технологія «Dutrion» дозволяє безпечно і економічно вигідно виробляти двоокис хлору безпосередньо в місці експлуатації мембрани.

В процесі очищення мембран двоокисом хлору додаткове промивання чистою водою не потрібно. Відомий також патент [33]. Винахід призначений для очищення мембран зворотного осмосу, які використовуються для знесолення природних і штучних вод. Спосіб очищення мембран з селективної проникності включає промивку робочої сторони мембран водно-сольовим розчином з попереднім введенням в розчин гідротропних речовин і подальшим промиванням знесолоною водою і розчином для промивання хелатного або комплексоутворюючого агента, рН якого коригується за допомогою лучної добавки до 6-8.

Пропонований метод забезпечує скорочення тривалості і трудомісткості роботи промивання мембран і повне відновлення їх властивостей. Суть методу полягає в наступному. При очищенні робочої поверхні мембран з селективної проникності відомим способом, наприклад, розчин сульфату натрію з високим осмотичним тиском при низькому робочому тиску пори мембрани і її протилежний бік промивають тільки знесолоною водою, В цьому випадку мембрани не повністю вивільняються з примісних іонів, що містяться в

знесоленій воді і зв'язаній воді, яка характеризується зниженою діелектричної проникністю і розчинністю.

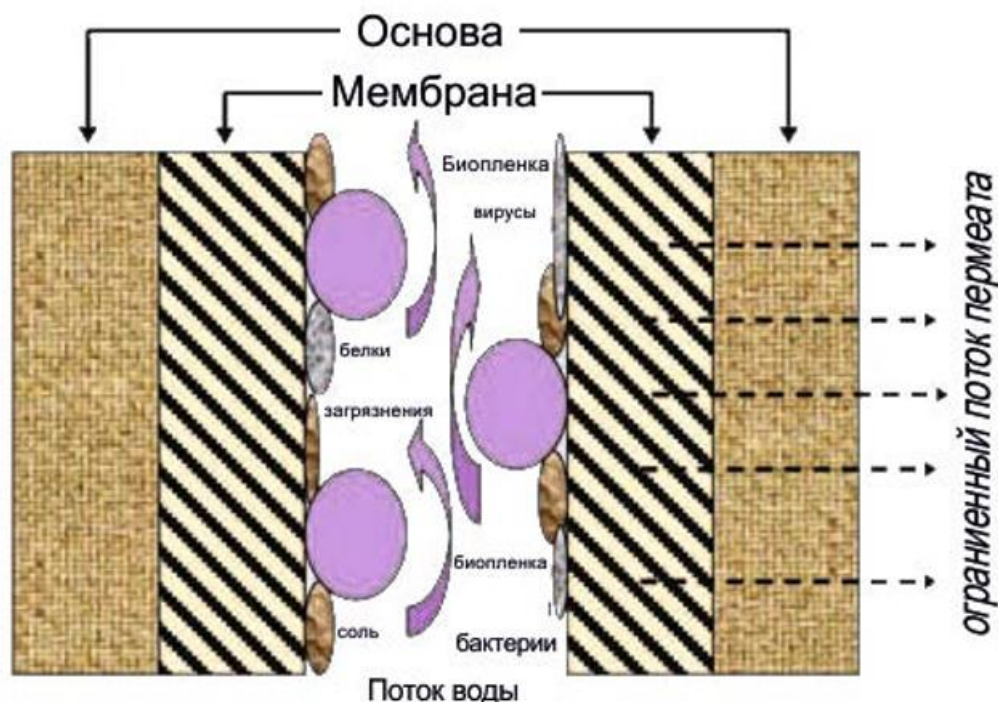


Рисунок 1.4. Мікробіологічна схема забруднення поверхню мембрани зворотного осмосу. [26]

В результаті не відбувається повного відновлення працездатності та селективності мембран навіть при повторній промивці. Введення в очищаючий розчин гідротропи, які змінюють структуру води і збільшують її розчинну здатність [26], дозволяє домогтися повного відновлення продуктивності і селективності мембран за допомогою однієї промивки. Крім того, використання промивного розчину хелатного або комплексоутворюючого агента з рН 4 не дозволяє очищати мембрани з робочим діапазоном рН 6-8. Регулювання того ж рН миючого розчину лужними добавками до значення 6-8 дозволяє використовувати цей метод для будь-якого виду, в тому числі для ацетатної целюлози, яка має найвужчий робочий діапазон рН 6-8. Введення в очищаючий розчин гідротрофних речовин в кількості менше 0,1 моль / літр не представляється можливим, оскільки повного відновлення продуктивності і

селективності мембрани не відбувається. Збільшення кількості гідротропів, які вводяться вище 0,4 моль / л, також недоцільно, так як подальше збільшення продуктивності і селективності не відбувається. Крім того, використання миючого розчину з рН 6-8 дозволяє очищати мембрани з іншим робочим діапазоном рН. Відомим методом очищення поверхні мембран селективної проникності є відновлення вихідних характеристик, включаючи багаторазову промивку робочої сторони мембрани водним розчином, що містить перкарбонат натрію і / або перкарбонат калію при $\text{pH} > 9$, з додаванням аніонного миючого засобу. Промивання проводять протягом 10 хвилин кожні кілька годин. Недоліком цього методу є неповне відновлення продуктивності і селективності мембран, множинність і тривалість полоскання, неможливість використання для мембран з робочим діапазоном рН 6-8, неможливість видалення осаду з робочої поверхні мембрани [33].

Зрозуміло, ці галузі досліджень не вичерпують всіх можливих підходів до проблеми забруднення та регенерації мембран. Очевидно, що тільки раціональне поєднання різних підходів і методів для конкретної системи розчинів з мембраною може дати найбільш значні результати, які полягають у тому, щоб максимально зберегти функціональні характеристики мембран під час їх роботи з максимально можливою профілактикою забруднення або збільшення періоду між регенераціями.

В роботі[14] був розроблений метод регенерації мембранних модулів зворотного осмосу і нанофільтрації для приготування питної та технологічної води із застосуванням температурної кавітації, що призводить до значного збільшення їх терміну служби, не порушуючи якісних характеристик води. Експериментально встановлено, що при тиску $P = 0,005-0,009$ МПа і при температурі насичення до 45°C відбувається ефективне видалення осаду з поверхні мембрани, не порушуючи функціональних властивостей мембран в рулонних модулях. Теоретично доведено і експериментально підтверджено, що застосування температурної кавітації відновлює продуктивність мембран зворотного осмосу до 92% початкової продуктивності при значеннях $\text{Re} = 15-25$

і зменшенні в 1,5 рази довжини процесу в порівнянні з традиційними методами прання. Пропонований метод дозволяє відновити до 92% питомої продуктивності мембранних модулів зворотного осмосу типу TFC зі зменшенням їх продуктивності до 40%, що в 2 рази перевищує існуючий критичний поріг, при якому можливе ефективне відновлення існуючих технологій. Крім того, було запропоновано активізувати цей процес за рахунок збільшення тиску. В цьому випадку відбудеться стиснення бульбашок пари, оновлення поверхні масопереносу і колоїдне подрібнення частинок осаду. Для перевірки цієї гіпотези експериментальні дослідження проводилися з використанням різних мембранних модулів і характеристик періодичності циклів підвищення тиску (кількість циклів, тривалість полоскання при тиску насичення, кількість промитого розчину при високому тиску) [14].

Крім того було доведено, що для випадку періодичного підвищення тиску величина коефіцієнта регенерації більша в 1,6 рази, порівняно з режимом промивання під розрідженням. Отже, одержані результати свідчать про ефективність періодичного підвищення тиску в промивній камері вище тиску насичення для інтенсифікації процесу вилучення осаду за рахунок турбулізації пограничного шару та оновлення поверхні контакту фаз, підтверджуються за результатами планування експерименту. [34]

1.4. Висновки

За результатами аналізу джерел літератури досліджень зроблено наступні висновки

1. Мембранні методи підготовки води є одними з найефективніших, що обумовило їх поширення в промислових установках.
2. Основною проблемою при експлуатації мембранних установок є явище концентраційної поляризації та утворення осадів на поверхні мембрани.
3. Існуючі методи регенерації дозволяють зменшити негативні наслідки утворення осадів, однак мають обмежену ефективність.

4. В попередній роботі запропоновано метод регенерації мембранних модулів з використанням температурної кавітації.

5. Також в попередній роботі було встановлено, що використання режиму пульсацій тиску підвищує ефективність проведення процесу. Однак параметри пульсації та їх вплив на ефективність регенерації не встановлений.

1.5. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є встановлення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації спіральних рулонованих модулів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані задачі дослідження:

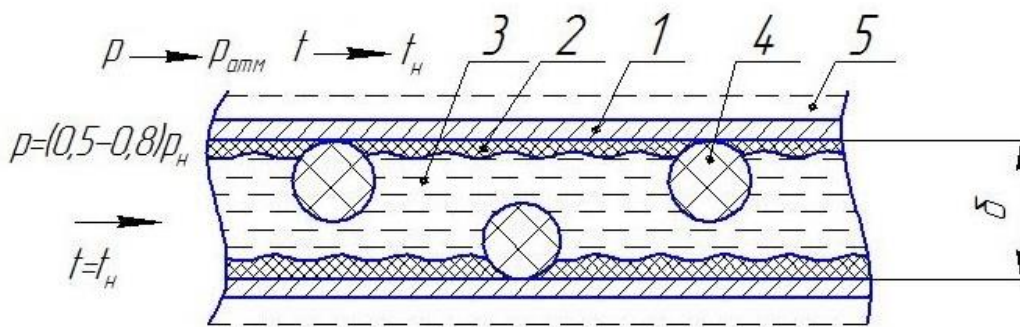
- обґрунтувати фізичну модель процесу вилучення осадів в умовах пульсації;
- скласти математичну модель процесів масообміну в стиснених умовах в умовах пульсації при регенерації рулонованих мембранних модулів;
- розробити методику експериментальних досліджень в умовах пульсації та вдосконалити експериментальні стенди для перевірки фізичної та математичної моделі процесу;
- Отримати розв'язок математичної моделі з використанням методу Рунге-Кутта з адаптивним кроком;
- Експериментально визначити вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації спіральних мембранних модулів;
- Визначити параметри пульсації, за яких регенерація відбувається найбільш ефективно

2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАСООБМІНУ ПРИ ВИДАЛЕННІ ОСАДІВ З РУЛОНОВАНИХ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

2.1. Фізична модель процесу регенерації забруднених рулонованих модулів з використанням пульсацій.

За основу взято фізичну модель, розроблену в попередній роботі [14].

Основний процес при регенерації мембранних модулів – це вилучення маси, який відбувається при контакті промивного розчину, який тече в каналі мембранного модуля, з твердим осадом. Промивний розчин слід вибирати в залежності від природи утвореного осаду. Процес вилучення осаду розглядається як дифузійноконтрольований. В ньому маса переноситься від твердої фази до рідкої [35, 36]. Процес відбувається в мембранному каналі. Він сформований двома робочими поверхнями витків рулону та сіткою сепаратором між ними. Це показано на рисунку 2.5. Ширина каналу залежить від розміру сітки-сепаратора, що не перевищує один міліметр. Сітка сепаратор складається з ланок діаметром d , які з'єднані у вузлах товщиною δ . Ланки сітки-сепаратора утворюють чотирикутник зі сторонами A та B . В процесі вилучення осаду, промивна рідина подається в напірний канал і рухається до вихідного отвору. На початку процесу на поверхні твердої речовини одразу формується дифузійний підшар, концентрація розчиненої речовини в якому дорівнює рівноважній. Якщо концентрація цієї речовини в промивному розчині менша – відбувається перенесення маси з твердої фази в рідку. Основний опір перенесенню зосереджено в дифузійному підшарі. Промивний розчин як правило тече ламінарно, тому можливості гідродинамічної інтенсифікації обмежені. За умов високої інтенсивності випаровування, бульбашки пари можуть створювати додатковий опір перенесенню маси. З метою усунення цього ефекту було запропоновано періодично підвищувати робочий тиску в ході регенерації [14].



1 – мембрана; 2 – шар осаду; 3 – бульбашки пари;

4 – сітка-сепаратор; 5 – дренажний канал.

Рисунок 2.1 – Схема масообміну при температурній кавітації в середньому перерізі елементарної комірки сітки сепаратора мембранного модуля

При русі води в каналі за температури 40 °С при абсолютних тисках 0,005–0,009 МПа можна спостерігати інтенсивне утворення бульбашок пари на сітці сепараторі. Також інтенсивне утворення бульбашок пари спостерігалось на поверхні трубки та стрижня. Температура промивного розвину визначалася умовами термічної стійкості мембран. При збільшенні абсолютного тиску або при зменшенні температури інтенсивність утворення бульбашок пари зменшується і в подальшому при зміні цих параметрів у відповідних напрямках зникає. Отже, наведені результати підтверджують положення фізичної моделі щодо інтенсифікації масообміну в стиснених умовах. Для розгляду течії рідини в каналах рулонованого модуля (при визначенні рівняння для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі доречно розглядати рух рідини як усталений та квазістаціонарний), рулонований мембранний модуль умовно розгорнемо в площину. Це дозволяє досліджуваний геометричний простір представити у вигляді паралелепіпеда і для аналізу використовувати Декартову систему координат. Нижня і верхня грані паралелепіпеда представляють собою поверхню мембранного полотна, на якій і знаходиться шар осаду.

Отже, для опису перенесення маси за умов температурної кавітації доречно застосувати коефіцієнт перенесення маси K , як характеристику інтенсивності

масообміну. Він враховує перенесення маси за рахунок дифузії та диспергування кристалів осаду під дією температурної кавітації.

2.2 Математична модель процесу видалення осаду

За основу взято математичну модель, розроблену в роботі [14]

Час повного вилучення осаду визначається з умови:

$$M_{\pi} - M = 0 \quad (2.1)$$

де M_{π} – початкова маса шару осаду, кг;

M – маса розчиненого і видаленого осаду, кг.

Маса видаленого осаду визначається з кінетичного рівняння, що в диференційній формі має вигляд [37, 38]:

$$dM = K(C^p - C_1)Fd \quad (2.2)$$

де K – коефіцієнт перенесення маси за умов пульсації

$d\tau$ – тривалість процесу видалення, с;

C^p – рівноважна концентрація розчинених речовин в розчині, кг/м³;

C_1 – середня концентрація розчинених речовин в розчині, кг/м³;

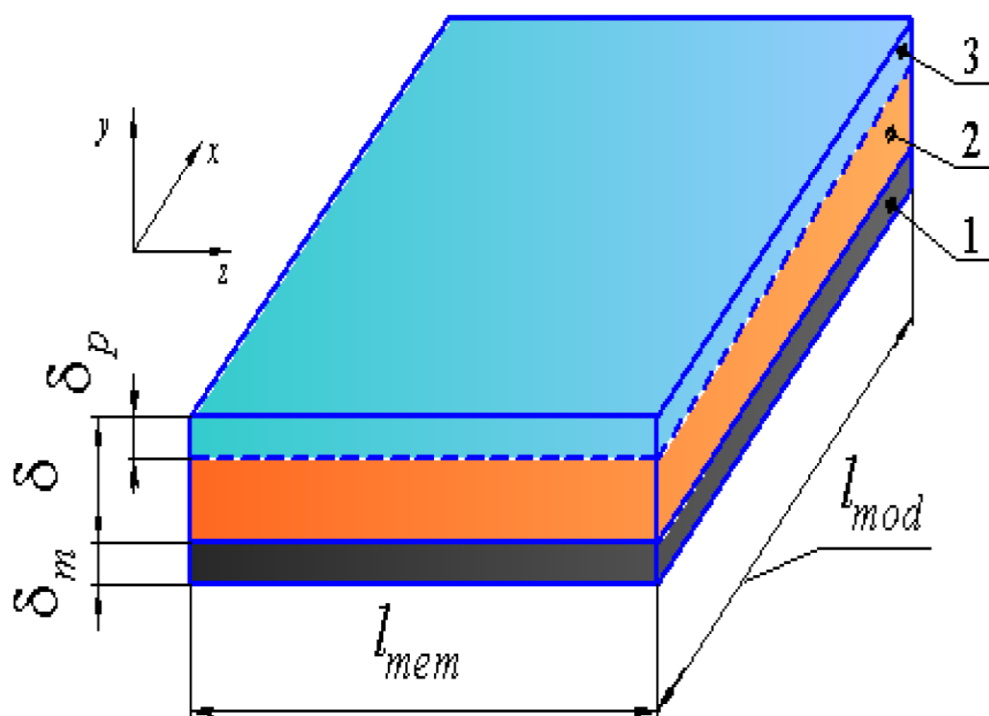
F – площа поверхні шару осаду (дорівнює площі поверхні мембрани), м².

Відповідно до прийнятої фізичної моделі, будемо розглядати шар осаду, товщиною δ_c , що рівно розподілений по поверхні мембрани, товщиною δ_m (рисунок 1.2). Враховуючи, що розміри полотна мембрани постійні і площа поверхні мембран в модулі з урахуванням двосторонності мембрани буде також постійною і буде дорівнювати $F = 2 \cdot l_{mem} \cdot l_{mod}$. Під час видалення осаду його маса зменшується, отже, відповідно буде зменшуватись і товщина шару осаду на величину δ_p як показано на рисунку 1.2. Тоді масу видаленого осаду можна представити у вигляді:

$$M = \rho \cdot F \cdot \delta_p (1 - \varepsilon_0) \quad (2.3)$$

де ρ – густина матеріалу шару осаду, кг/м³;

ε_0 – відносний об'єм пустот в шарі осаду.



1 – мембранний елемент; 2 – шар осаду; 3 – шар осаду, що видаляється

Рисунок 2.2 – Схема зміни товщини шару осаду при видаленні осаду

Враховуючи, що відповідно до фізичної моделі процес проходить за умов, які близькі до ізотермічних, то процес розчинення може бути виражений і через масу вилученого матеріалу також. В такому разі матеріальний баланс буде мати вигляд:

$$M = M_{\pi} - (M_{\pi} - M) = V(C_1 - C_0) \quad (2.4)$$

Розв'язавши рівняння відносно C_1 отримуємо:

$$C_1 = C_0 + \frac{M_{\pi}}{V} \left(1 - \frac{M_{\pi} - M}{M_{\pi}} \right) \quad (2.5)$$

Підставивши рівняння (2.5) в рівняння (2.2) можна знайти остаточний вигляд кінетичного рівняння:

$$dM = K \left(C^p - C_0 - \frac{M_{\pi}}{V} \left(1 - \frac{M_{\pi} - M}{M_{\pi}} \right) F \right) F d\tau \quad (2.6)$$

Величина коефіцієнта перенесення маси K залежить від фізичних умов та геометричних характеристик системи.

У роботі [14] було визначено критеріальне рівняння для визначення коефіцієнту перенесення маси.

$$Sh = ARe^n Sc^m \left(\frac{d_p}{L}\right)^p \quad (2.7)$$

Рівняння (2.7) дозволяє визначати коефіцієнт перенесення маси, який необхідний для розв'язання математичної моделі процесу. Коефіцієнт A і показники степенів n , m та p потрібно визначити при узагальненні результатів експериментальних досліджень масопередачі при вилученні осаду

Для оцінки ефективності процесу регенерації було запропоновано використовувати коефіцієнт регенерації. Він характеризує зростання продуктивності після регенерації мембранного модуля відносно продуктивності брудної мембрани [36].

$$\psi = \frac{\alpha K(C^p - C_1)F\tau}{R_m \rho F(1 - \varepsilon_0) + \alpha(m_i - K(C^p - C_1)F\tau)} \quad (2.8)$$

Отримане рівняння дозволяє спрогнозувати продуктивність мембранного модуля після проведення регенерації.

2.3 Методика розв'язання математичної моделі

У роботі [14] математична модель була розв'язана методом Рунге-Кутта з постійним кроком[39]. В даній роботі математична модель була розв'язана методом Рунге-Кутта з адаптивним кроком.

Суть методу наступна:

- задається крок по часу і визначається поточне значення часу:

$$\tau_{i+1} = \tau_i + h, \quad (2.9)$$

- розраховуються коефіцієнти Рунге-Кутта:

$$K_{li} = K \left(C^p - C_0 - \frac{M_{\Pi}}{V} \left(1 - \frac{M_{\Pi} - M_i}{M_{\Pi}} \right) \right) F, \quad (2.10)$$

$$K_{2i} = K \left(C^p - C_0 - \frac{M_{\Pi}}{V} \left(1 - \frac{M_{\Pi} - (M_i + K_{1i}h/2)}{M_{\Pi}} \right) \right) F, \quad (2.11)$$

$$K_{3i} = K \left(C^p - C_0 - \frac{M_{\Pi}}{V} \left(1 - \frac{M_{\Pi} - (M_i + K_{2i}h/2)}{M_{\Pi}} \right) \right) F, \quad (2.12)$$

$$K_{4i} = K \left(C^p - C_0 - \frac{M_{\Pi}}{V} \left(1 - \frac{M_{\Pi} - (M_i + K_{3i}h)}{M_{\Pi}} \right) \right) F. \quad (2.13)$$

При цьому при $i = 0$ значення часу τ_0 та маси M_0 визначаються згідно початкових умов.

Далі визначається маса вилученого осаду на кроці $i+1$:

$$M_{i+1} = M_i + \frac{h}{6} (K_{1i} + 2K_{2i} + 2K_{3i} + K_{4i}). \quad (2.14)$$

Якщо значення M_{i+1} менше заданого значення маси осаду яку необхідно вилучити M_3 , то визначається значення часу на наступному кроці (формула 2.9) та проводиться повторний розрахунок. Якщо $M_{i+1} > M_3$, то в якості часу приймаємо τ_i і перевіряємо умову достатньої точності розрахунків:

$$|M_i - M_3| \leq e, \quad (2.15)$$

де e – потрібна ступінь точності.

Якщо умова (2.15) не виконується, то відбувається зменшення кроку h і розрахунок повторюємо починаючи зі значення i з новим значенням кроку допоки не виконається умова (2.15)

При використанні методу Рунге-Кутта з фіксованим кроком у разі невиконання умови (2.15) крок зменшувався довільним чином, для зручності розрахунків $h = h/10$. Таке припущення є недостатньо обґрунтованим і може призвести до збільшення тривалості розрахунку, тому в даній роботі було використано метод Рунге-Кутта з адаптивним кроком[40], де крок визначається за формулою:

$$h_{new} = h \cdot \min \left(1.8, \max \left(0.5, 0.8 \cdot \left(\frac{\Delta}{E_{diff}} \right)^{\frac{1}{4}} \right) \right) \quad (2.16)$$

Потім розрахунок повторюємо починаючи зі значення i з новим значенням кроку допоки не виконається умова (2.15). Знайдене значення τ_i є часом проведення процесу регенерації, який необхідно було визначити.

Відповідно до цієї методики можна визначити тривалість регенерації і коефіцієнт регенерації за формулою (2.8).

2.4 Результати розрахунків за математичною моделлю

Результати представлені у вигляді графічних залежностей маси видаленого матеріалу шару осаду та коефіцієнта регенерації від часу, які показані на рисунках 2.3 та 2.4.

Представлені результати розрахунків показують, що для малих значень приведенного критерію Рейнольдса час повного розчинення шару осаду різко зменшується зі зростанням значення приведенного критерію Рейнольдса. Зокрема, з 7887 секунд (понад дві години) для $Re = 10$ до 5618 секунд (приблизно півтори години) при $Re = 15$ (на 28,8% менше, порівняно зі значенням при $Re = 10$) і до 4494 секунд (приблизно одна година і 15 хвилин) для $Re = 20$ (або на 43% порівняно з значенням для $Re=10$ чи 20% порівняно зі значенням при $Re = 15$).

Для порівняння, результати розрахунку методом Рунге-Кутта з постійним кроком, мають вигляд: 7967 секунд (понад дві години) для $Re = 10$ до 5675 секунд (приблизно півтори години) при $Re = 15$ (на 28,8% менше, порівняно зі значенням при $Re = 10$) і до 4540 секунд (приблизно одна година і 15 хвилин) для $Re = 20$ (або на 43% порівняно з значенням для $Re=10$ чи 20% порівняно зі значенням при $Re = 15$).[14]

Результати моделювання підтверджують висновки отримані в роботі [14]

В цьому діапазоні зростання приведенного критерію Рейнольдса (зростання швидкості промивного розчину) можна розглядати як досить ефективний шлях

для інтенсифікації процесу регенерації мембранного модуля, що може зменшити час регенерації мембрани майже в двічі.

Однак для більших значень критерію Рейнольдса зменшення часу регенерації стає більш повільним.

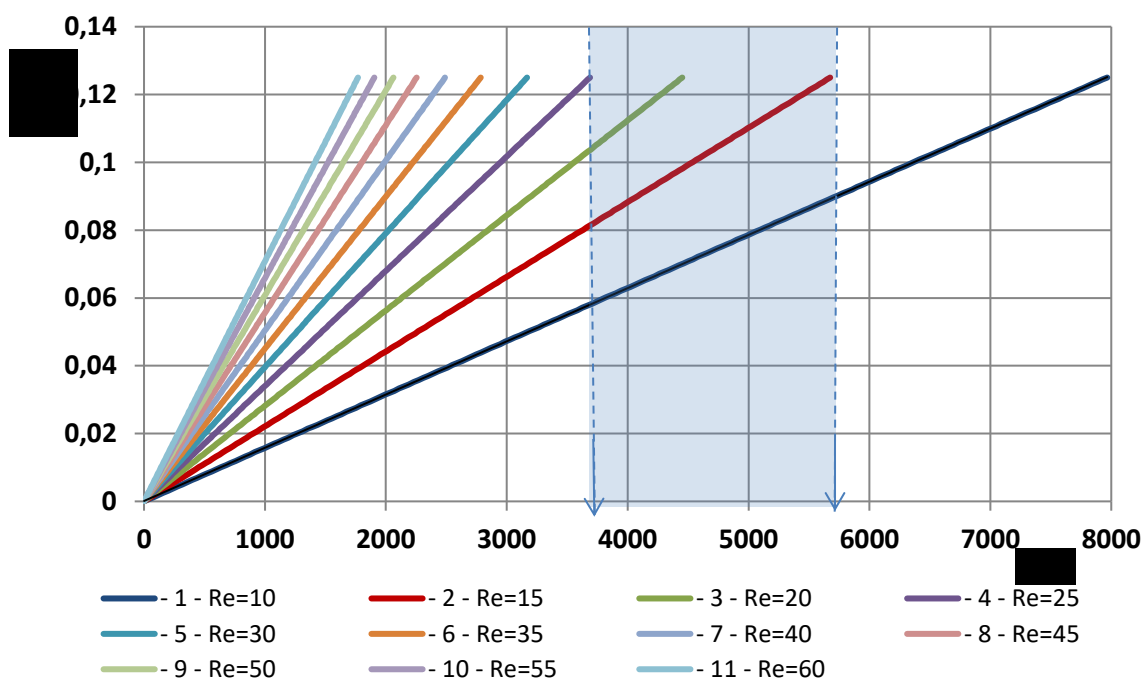


Рисунок 2.3 – Кінетика процесу видалення осаду

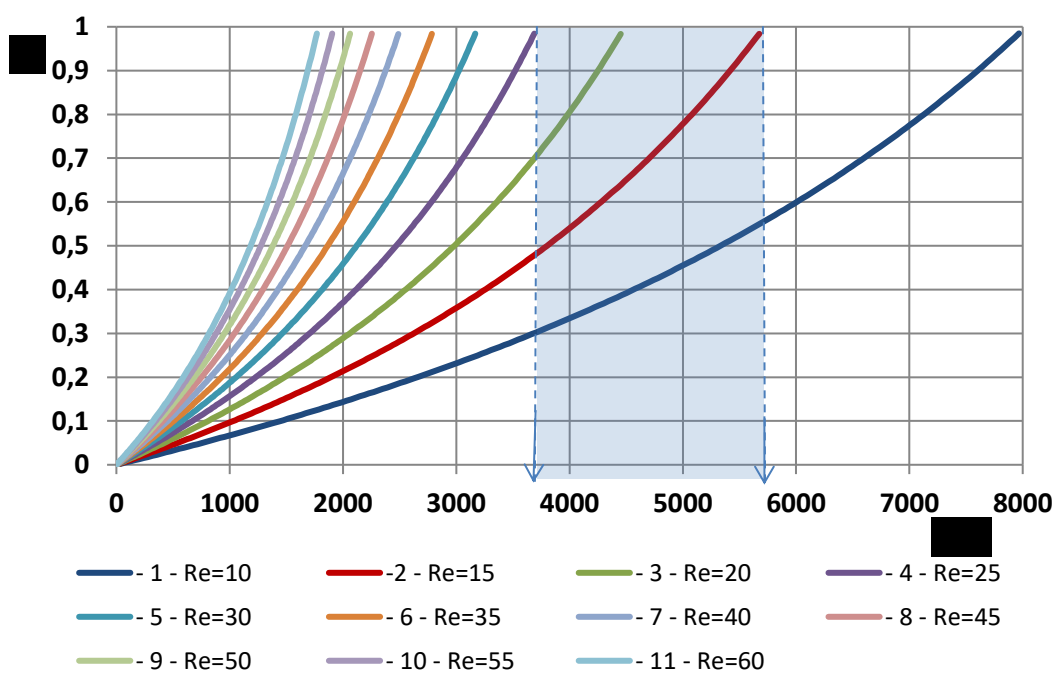


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта регенерації від часу

В таких умовах зростання значення критерію Рейнольдса не можна розглядати як більш ефективний метод для інтенсифікації процесу регенерації мембраних модулів, тому що зі збільшенням швидкості промивного розчину зростають витрати енергії. Для значень приведенного критерію Рейнольдса більше 25 зростання витрат енергії не забезпечує достатнього зменшення часу регенерації. Це означає, що найбільш раціональний режим проведення процесу регенерації відповідає значенням приведенного критерію Рейнольдса від 15 до 25.

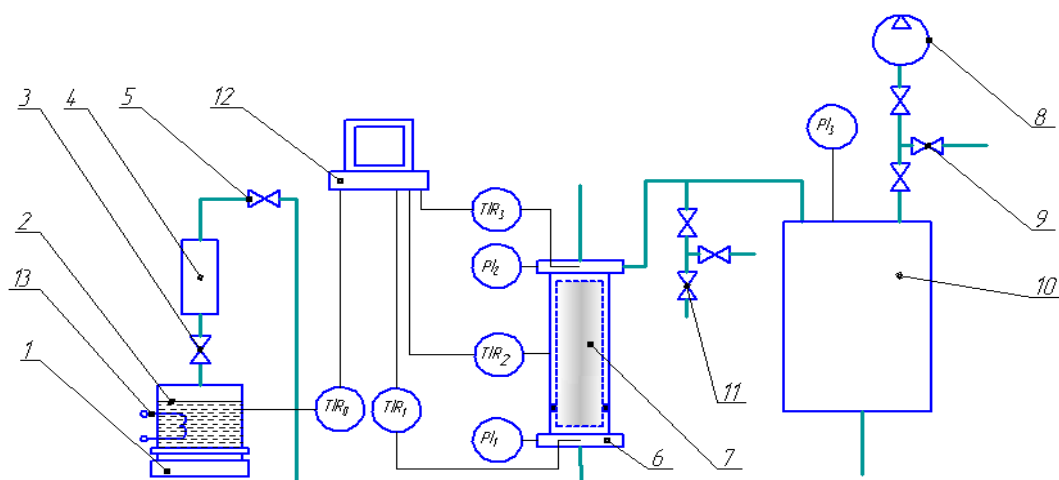
2.5 Висновки

- Обґрунтовано вибір фізичної та математичної моделі
- Запропоновано новий розв'язок математичної моделі
- Отримані результати розрахунку методом Рунге-Кутта з постійним і адаптивним кроками відрізняються на менше ніж 1%, тому обидва ці методи в повній мірі можуть бути використані для проведення розрахунків.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ РЕЖИМІ

3.1 Опис експериментальної установки

Для проведення експериментальних досліджень використовується існуюча експериментальна установка. Схему установки наведено на рисунку 3.1. Загальний вигляд установки показаний на рисунку 3.4.

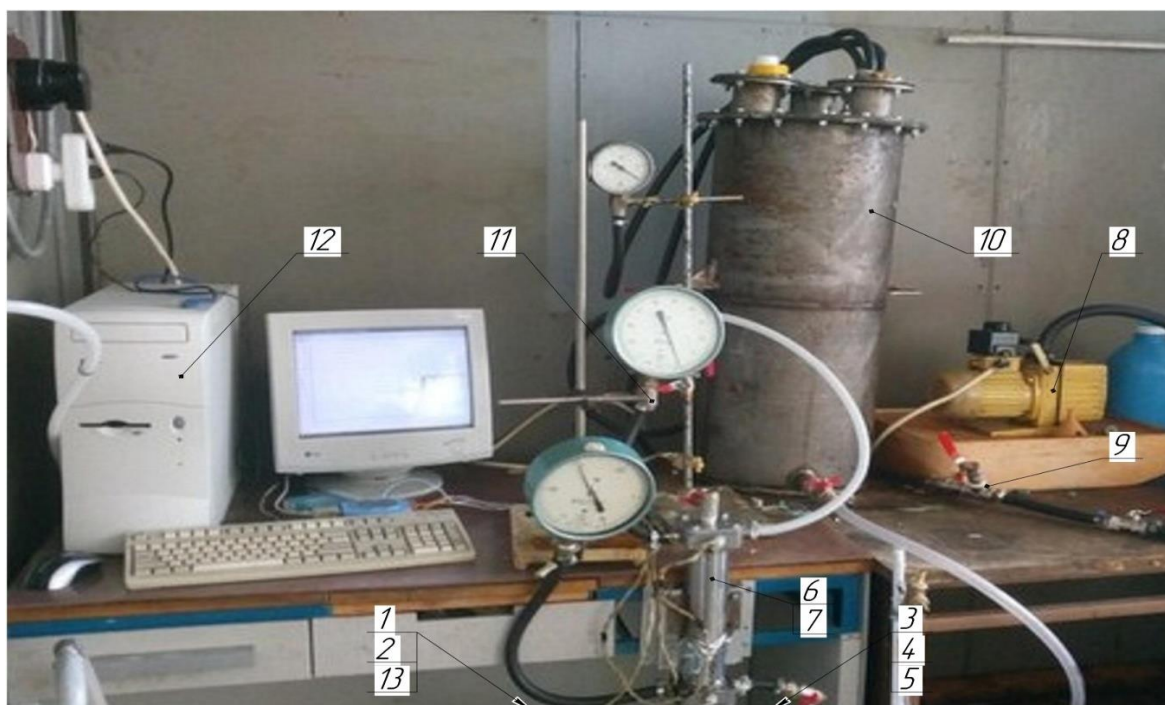


- 1 – ваги; 2 – ємність з промивною рідиною; 3,5 – регулювальний кран;
4 – ресивер; 6 – промивна камера; 7 – мембранний модуль; 8 – вакуум-насос;
9 – кран для з'єднання з атмосферою; 10 – проміжна ємність;
11 – відбір проб промивної рідини, 12 комп'ютер; 13 – електронагрівач.

Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки для проведення процесу регенерації в умовах пульсацій

Установка вимірює витрату ваговим методом, для чого передбачено електронні ваги 1, які постійно вимірюють масу промивної рідини в ємності 2 підігрітої до заданої температури. Зміну маси за заданий проміжок часу вимірювали електронним секундоміром. Температура вимірювалась блоком хромель-копелевих термопар, при чому вимірювання температури на вході в

мембранний модуль 7 (TIR_1) та на виході з нього (TIR_3). Додатково передбачається вимірювання температури промивної рідини в ємності 1 (TIR_0) та зовнішньої поверхні промивної камери 6 (TIR_2). Показники термодатчиків реєструвалися на комп'ютері 12 з допомогою програмного модуля IndexTem з частотою 1 вимірювання в секунду з точністю до 0,2 °C. Вимірювання тиску відбувалось з допомогою вакуумметрів, що знаходяться на вході в мембранний модуль 7 (PI_1), на виході з нього (PI_2) та в проміжній ємності 10 (PI_3). Концентрація вимірювалась портативним TDS-метром TDS5 EZ, для чого створено можливість відбору проб промивної рідини з ємності 2 та на виході з експериментальної ємності 6 за допомогою кранів 11.



1 – ваги; 2 – ємність з промивною рідиною; 3,5 – подвійний регулювальний кран; 4 – ресивер; 6 – промивна камера; 7 – мембранний модуль; 8 – вакуум-насос; 9 – кран для з'єднання з атмосферою; 10 – проміжна ємність; 11 – кран для відбору проб промивного розчину, 12 – комп'ютер; 13 – нагрівач.

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментальної установки

Рух промивного розчину забезпечує перепад тиску між ємністю 2 та ємністю 10, який створює вакуум насос 8. Також вакуум-насос 8 забезпечує розрідження, яке потрібне для реалізації положень фізичної моделі.

Регулювання витрат промивного розчину здійснюється за допомогою кранів 3 та 5. Температура промивної рідини збільшувалася за допомогою електронагрівача 13.

Порядок проведення експериментальних досліджень був наступний. Мембранний рулонований модуль 7 з відомими геометричними характеристиками поміщався в промивну камеру 6, закривалися регулювальні крани 3 та 5, вмикали вакуум-насос 8 і відбувалось досягнення розрідження в проміжній ємності 10 на рівні близько 0,092-0,098 МПа (абсолютний тиск становив відповідно 0,008-0,002 МПа). Промивний розчин із необхідною концентрацією та температурою заливався в ємність 2. Після чого відкривалися крани 3 та 5 і відбувалось встановлення необхідної витрати промивного розчину. Також встановлювався тиск на вході і на виході з мембранного модуля 6. Під дією різниці тиску в ємностях 2 та 10 здійснюється течія промивної рідини через промивну камеру 6 та мембранний модуль 7, під час якої відбувається масообмін між шаром осаду на поверхні мембрани та рідкою фазою промивної рідини. Відпрацьований промивний розчин зливається в проміжну ємність 10. Через задані проміжки часу відбувалась фіксація зміна маси ємності з промивною рідиною. Також фіксувався тиск на вході та виході з мембранного модуля та концентрації промивного розчину на виході з мембранного модуля. Відбувалося безперервне вимірювання температури промивного розчину на вході та виході з мембранного модуля. Коли процес проводився в режимі пульсування тиску, то періодичні зміни тиску проходили за допомогою регулювального крана 5.

Вдосконалення установки полягає у використанні подвійного (сферичного і гольчатого) крану 3. Це дозволяє більш точно регулювати кількість промивного розчину, що подається до промивної камери 6.

Було проведено три серії експериментів.

В першій серії експериментів постійними приймалися число циклів пульсацій та тривалість витримки. Змінювалась маса промивного розчину в діапазоні 50-250г, а саме: 50г, 100г, 150г, 200г, 250г.

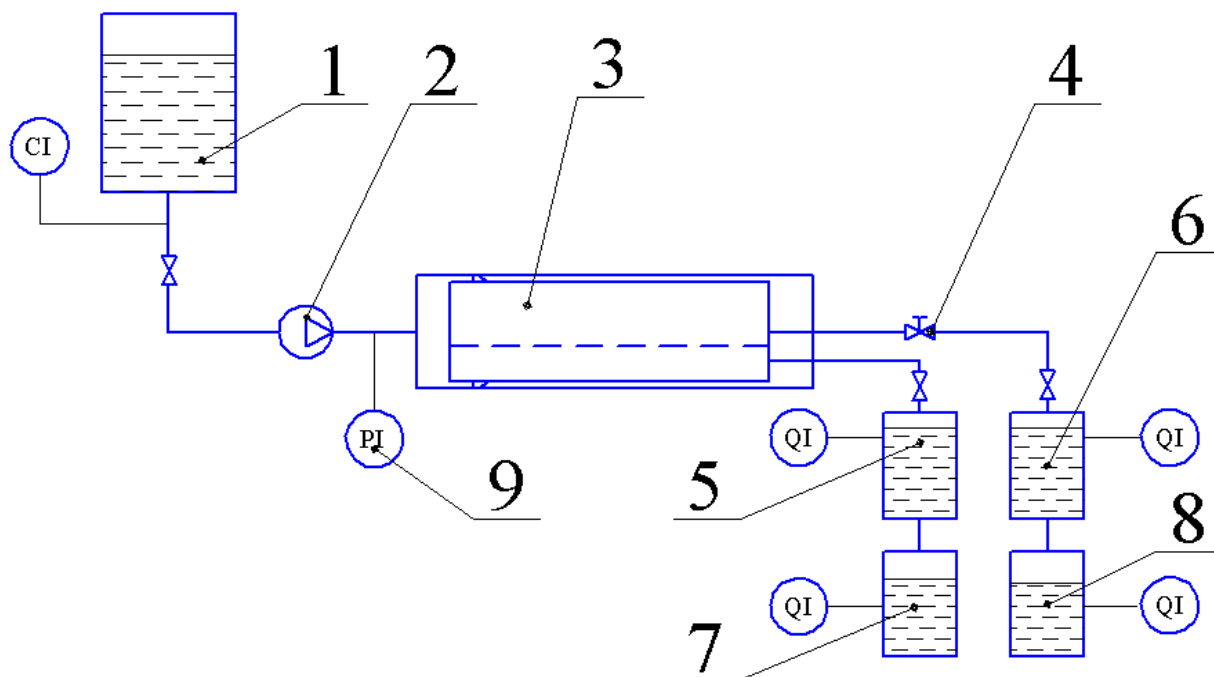
В другій серії експериментів постійними приймалися число циклів пульсацій та маса промивного розчину. Змінювався час витримки під розрідженням в діапазоні 30-150с, а саме: 30с, 60с, 90с, 120с, 150с.

В третій серії експериментів постійними приймалися час витримки під розрідженням та маса промивного розчину. Змінювалось число циклів пульсацій в діапазоні 3-10, а саме 3, 4, 6, 8, 10.

Ефективність регенерації перевірялася на існуючій установці за методикою розробленою в роботі [14]. Схема установки представлена на рисунку 3.3. Фотографію установки зображено на рисунку 3.4.

Для оцінки ефективності регенерації використовувались побутові мембранні модулі. Ці модулі призначені для доочистки водопровідної води, тому для оцінки селективності було обрано водопровідну воду.(солевміст 180-225 мг/дм³). Розрахунок селективності відбувався за концентраціями солей в початковому розчині та пермеаті.

Визначення питомої продуктивності відбувалось об'ємним методом. Водопровідна вода – це багатокомпонентний розчин. Це ускладнює визначення осмотичного тиску в ній. Також, в такому разі, ускладнюється визначення опору концентраційної поляризації. Тому з метою покращення точності визначення ефективності регенерації тестовим розчином було вибрано знесолену воду з загальним солевмістом 7-20 мг/дм³. За таких умов опір концентраційної поляризації і осмотичний тиск дуже малі, тому сумарний опір перенесенню буде визначатися тільки опором самої мембрани та опором шару осаду. Це означає, що зміна продуктивності мембрани буде визначатися тільки зміною опору шару осаду, а отже – зміною його кількості.

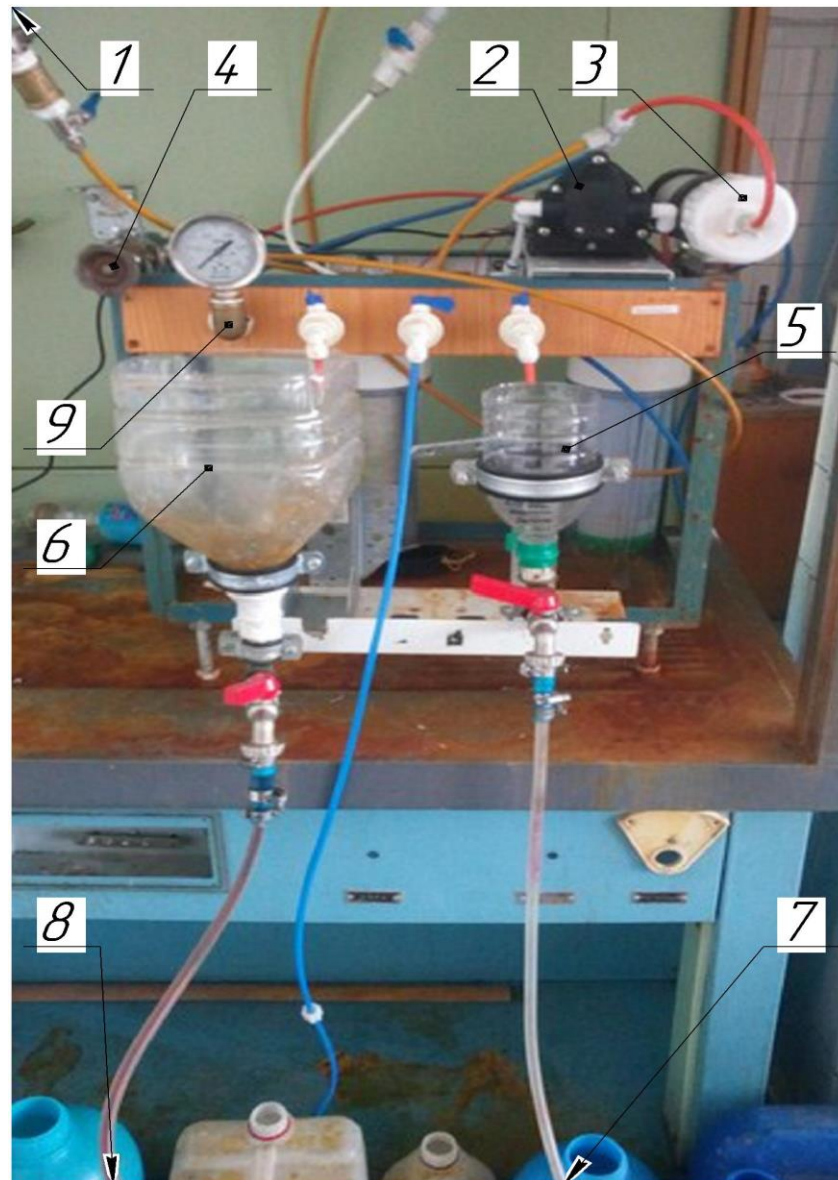


1 – ємність з початковим розчином; 2 – насос; 3 – мембранний апарат з модулем; 4 – регулювальний кран; 5 – ємність для вимірювання витрат пермеату; 6 – ємність вимірювання витрат ретантату; 7 – ємність для збору пермеату; 8 – ємність для збору ретентату; 9 – манометр;

Рисунок 3.3 – Схема експериментальної установки для перевірки ефективності регенерації мембранних модулів в умовах пульсацій

Установка дозволяє вимірювати витрати пермеату та ретентату об'ємним методом, за допомогою ємностей 5 та 6, які також дозволяють вимірювати загальний солевміст за допомогою портативного TDS-метра. Концентрація солей в початковій суміші визначалася портативним TDS-метром. Робочий тиск вимірювали манометром PI.

Вдосконалення установки полягає у використанні більш точних ємностей для вимірювання витрат перметату та ретантату 6,7.



1 – ємність з початковим розчином; 2 – насос; 3 – мембранний апарат;
 4 – регулювальний кран; 5 – ємність для вимірювання витрат пермеату;
 6 – ємність вимірювання витрат ретентату; 7 – ємність для збору пермеату;
 8 – ємність для збору ретентату; 9 – манометр;
 Рисунок 3.4 – Зображення установки для перевірки ефективності регенерації
 мембранних модулів в умовах пульсації

3.2 Результати експериментальних досліджень

Відповідно до методики експериментальних досліджень, описаних в пункті 3.1 було проведено серію експериментів.

В якості промивного розчину використовувалася знесолена вода (пермеат).

Оцінку ефективності регенерації мембранних модулів проводили шляхом порівняння продуктивності мембранних модулів до та після регенерації.

Окремі приклади результатів представлені на графіках.

Наприклад: в результаті регенерації мембранного модуля за умов: кількість пульсацій рівна 6, час витримки становив 90с, маса промивного розчину становила 150г було досягнуто збільшення продуктивності на 17.7%.

Результати представлені на рисунку 3.5.

Результати регенерації мембранного модуля за умов: кількість пульсацій 4, час витримки під розрідженням 120с, маса промивного розчину 50г представлені на рисунку 3.6.

В результаті регенерації було досягнуто збільшення продуктивності на 9.8%.

Результати регенерації мембранного модуля за умов: кількість пульсацій 10, час витримки під розрідженням 40с, маса промивного розчину 200г представлені на рисунку 3.7.

В результаті регенерації було досягнуто збільшення продуктивності на 55.6 %.

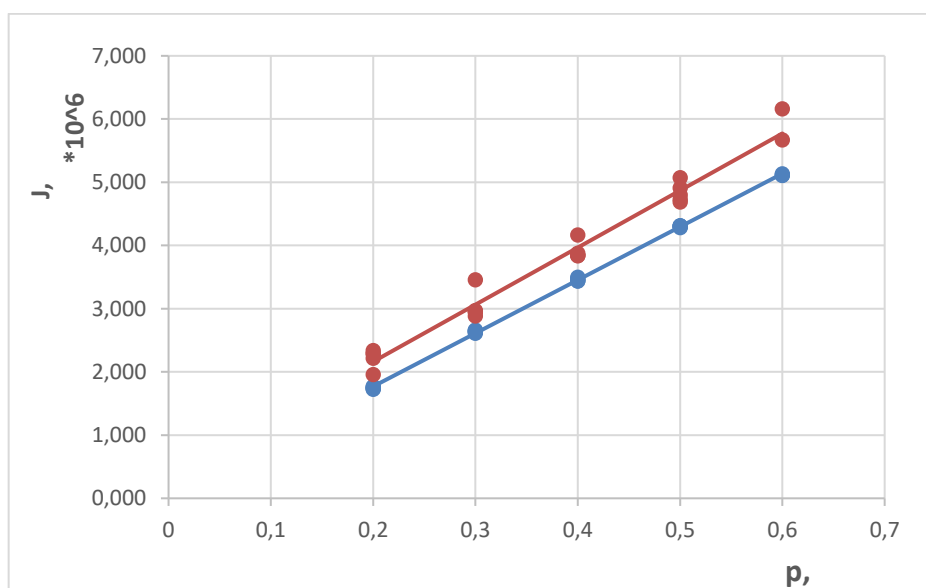


Рисунок 3.5 Графік залежності потоку від тиску

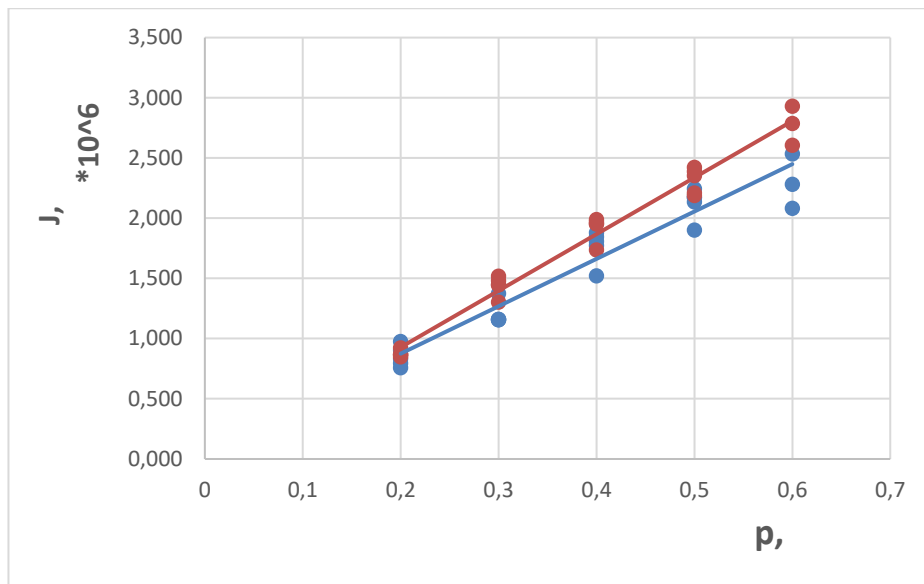


Рисунок 3.6 Графік залежності потоку від тиску

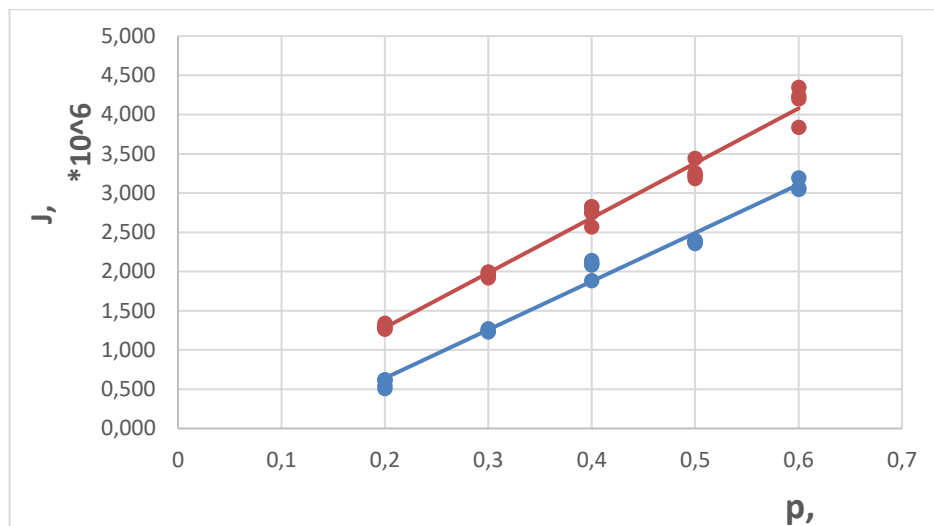


Рисунок 3.7 Графік залежності потоку від тиску

В результаті обробки спостерігалось аналогічне підвищення продуктивності і інших мембранних модулів після кожного циклу регенерації. Величина коефіцієнта розділення не змінювалась більше 1% після кожного циклу регенерації. Відповідно після регенерації спостерігалось зменшення сумарного опору перенесенню (рисунки 3.8).

Дуже мале значення осмотичного тиску під час експериментів підтверджує, що зростання продуктивності мембранних модулів відбувалося за рахунок зменшення загального опору мембран. Це також підтверджується збільшенням тангенсу кута нахилу на апроксимуючих прямих на

рисунках 3.5 – 3.7. При цьому значення загального опору мембрани залишається практично постійним при зміні робочого тиску. Отже опір концентраційної поляризації був нехтовно малий.

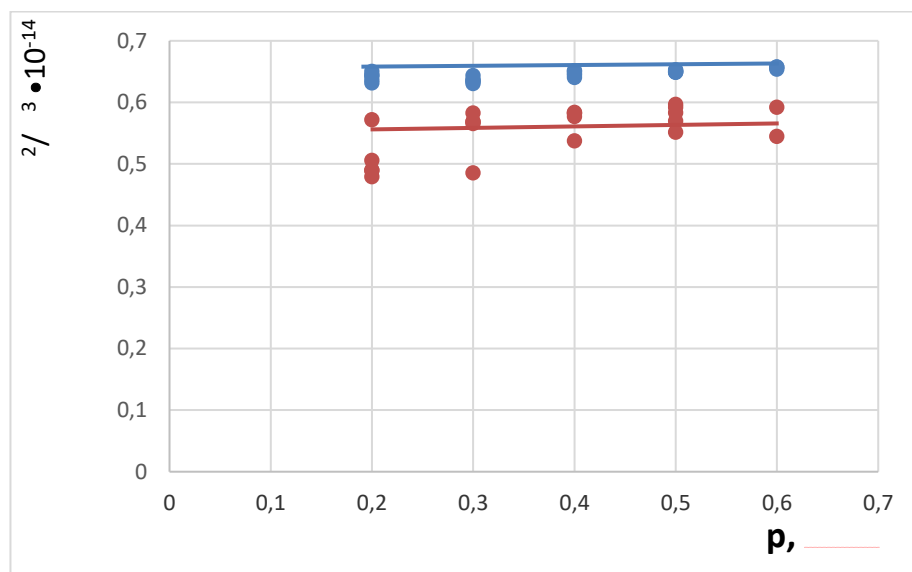


Рисунок 3.8 Графік залежності опору мембрани від тиску

З цього слідує, що збільшення продуктивності було досягнуто за рахунок зменшення опору шару осаду, що вказує на його видалення.

3.3 Узагальнення результатів

Зазначені серії експериментальних досліджень узагальнено шляхом розрахування коефіцієнта регенерації і представлено на графіках.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від кількості промивного розчину зображено на рисунку 3.9. Параметри пульсації: число циклів пульсації стало, тривалість витримки при розрідженні стала, маса промивного розчину $m_i=0,05-0,25$ кг.

Як видно з графіка, зі збільшенням кількості промивного розчину коефіцієнт регенерації зростає [41].

Графік залежності коефіцієнта регенерації від часу витримки зображено на рисунку 3.10 [41]. Параметри пульсації: число циклів пульсації стало, тривалість витримки при розрідженні $\tau_i=30-150$ с, маса промивного розчину стала.

Як видно з графіка, зі збільшенням часу витримки коефіцієнт регенерації зменшується [41].

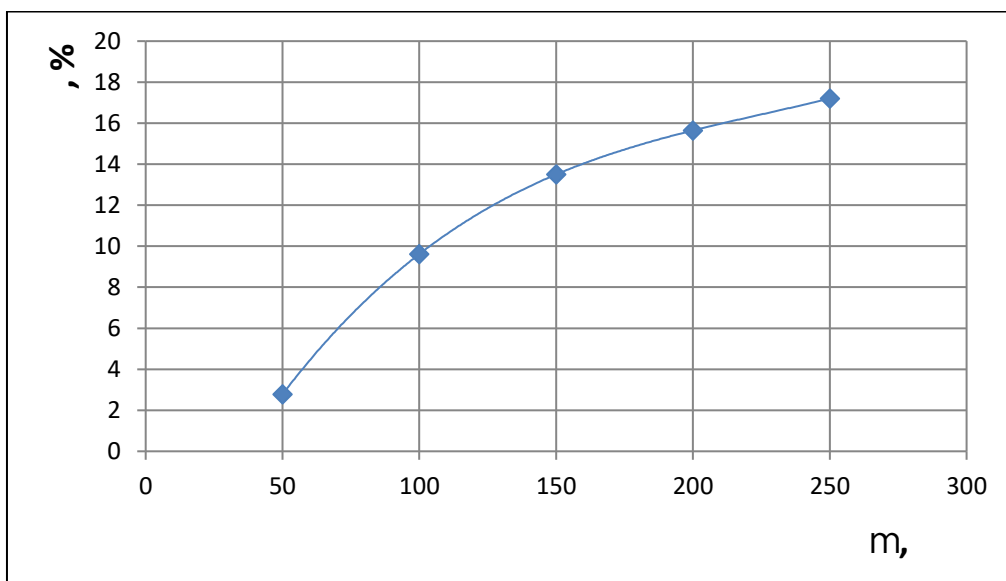


Рисунок 3.9 Графік залежності коефіцієнта регенерації від кількості промивного розчину

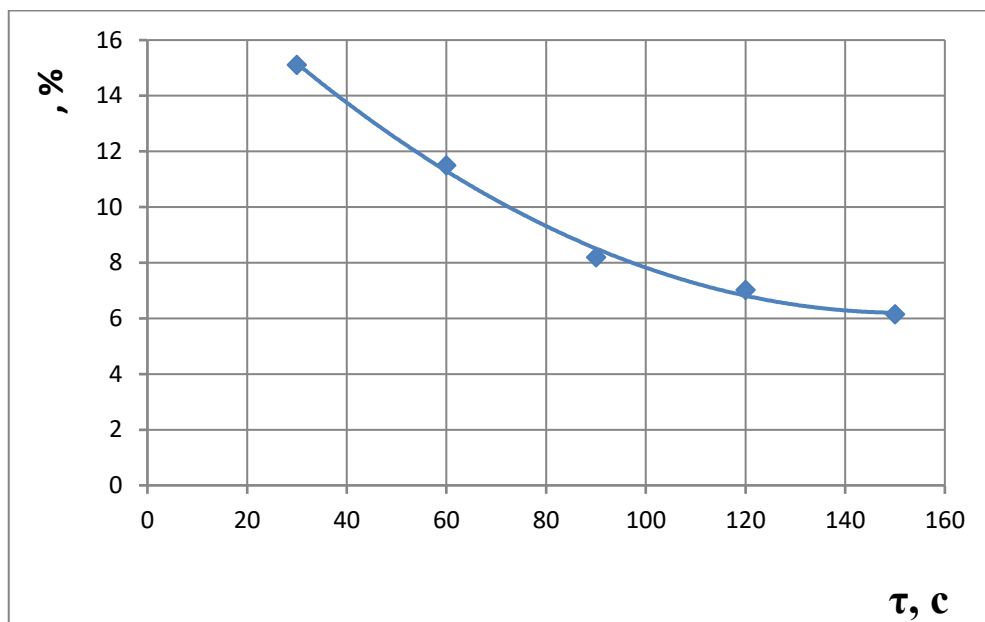


Рисунок 3.10 Графік залежності коефіцієнта регенерації від часу витримки

Графік залежності коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації зображено на рисунку 3.11 [41]. Параметри пульсації: число циклів пульсації n_i

=3-10, тривалість витримки при розрідженні стала, маса промивного розчину стала.

Як видно з графіка, зі збільшенням числа циклів пульсації коефіцієнт регенерації зростає [41].

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування пульсацій підвищують ефективність регенерації мембранних модулів. Крім того, існує можливість підбирати найбільш раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні [41].

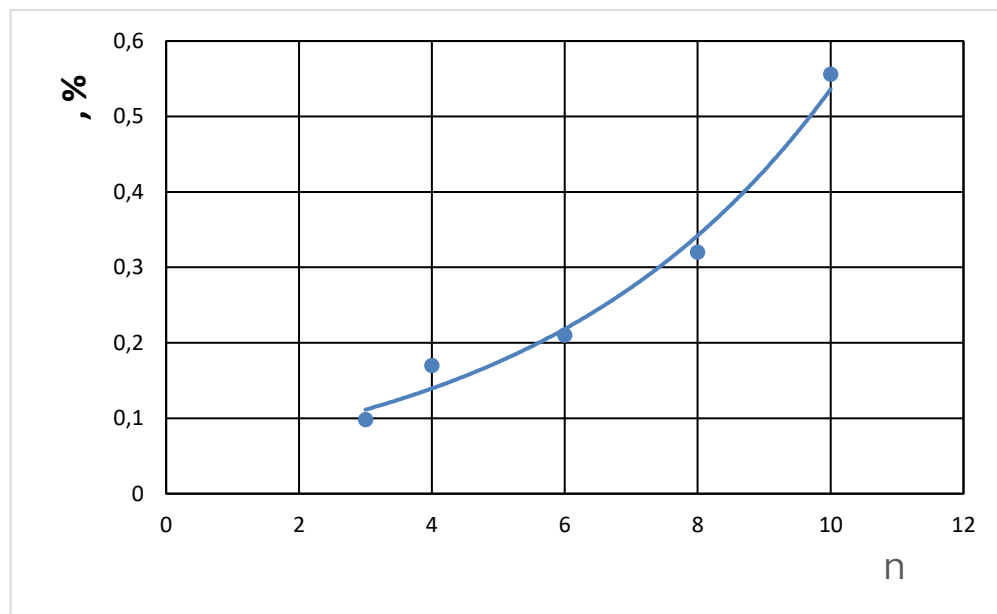


Рисунок 3.11. Графік залежності коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації

3.4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Сучасний розвиток науки і техніки приносить принципові нововведення у всі сфери матеріального виробництва, суттєво змінюючи технологічні процеси та матеріали, що використовуються, предмети та знаряддя праці. В свою чергу зміни технології та устаткування призводять до зміни умов праці та трудового процесу в цілому.

Апарати, які вводяться в експлуатацію, як і все інше обладнання, повинно відповідати всім вимогам техніки безпеки і охорони праці, які сформульовані в галузевих стандартах, а також в затверджених інстанціями інструкціях, правилах і нормах. Темою магістерської дисертації є «Процес регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі». Контроль параметрів технологічного процесу здійснюється оператором лінії, пульт якого знаходиться в виробничому приміщенні, площею 300 м² і об'ємом 1800 м³ та висотою 6м.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі та обслуговуванні виробничої схеми є :

- повітря робочої зони;
- ураження електричним струмом;
- небезпека впливу елементів устаткування нагрітих до високих температур;
- виробничий шум, вібрація;
- пожежонебезпека.

3.4.1 Повітря робочої зони

Виходячи з прийнятої технологічної схеми маємо приміщення без надлишкового тепловиділення, тобто $Q < 20$ ккал/год м³ або $Q < 23.27$ Дж/с. м³ Категорія робіт оператора легка, так як показник енерговитрати складає до 273 Дж/с. Параметри повітря робочої зони представлені в таблиці 3.1, в якій вказані також оптимальні умови.

Фактична концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони відповідають ГОСТ 12.1.005-88/98.

Параметри повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042-99. Забезпечення параметрів в зимовий час здійснюються за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70-90 °С, а в теплий час року вентиляцією та кондиціонуванням.

Для відводу цих речовин в конструкції лінії передбачена місцева вентиляція відкритого типу. До місцевих відсмоктувачів відкритого типу

належать всмоктувальні панелі, витяжні зонти та бортові відсмоктувачі. Витяжні зонти потрібні для вловлювання потоків шкідливих речовин, що направлені вгору. Їх доцільно використовувати у випадку, коли джерело утворення пилу, парів та газів переміщується по площині робочого місця як в горизонтальній, так, і у вертикальній площинах.

Параметри повітря робочої зони наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри повітря робочої зони

Сезон року	Категорія робіт	Фактична температура, °C	Фактична відносна вологість, %	Фактична швидкість руху повітря, м/с
Холодний період року	Легка I	19-20	40-65	0,2
Теплий період року	Легка I	20-25	40-70	0,2

При проектуванні штучної (механічної) загальнообмінної вентиляції, яка призначена для вилучення з приміщення надлишків тепла, вологи та інших шкідливих виділень необхідно приймати розрахункові параметри згідно з СнП2.04.05 —91.

Розрахунок механічної вентиляції повинен включати визначення найбільш раціонального способу вилучення або попередження утворення токсичних, пожежо - чи вибухонебезпечних концентрацій пароповітряних сумішей (загальнообмінні або місцеві вентиляційні установки і системи); визначення необхідної кількості повітря для вентиляції виходячи із кількості шкідливих речовин, які вилучаються з приміщення, відомої кратності повітрообміну в приміщенні, або надлишкового тепла, яке необхідно асимілювати до санітарно - допустимих норм відповідно ГОСТ 12.1.005—88/98.

3.4.2 Небезпека ураження електричним струмом

Устаткування лінії, що розробляється, буде знаходитись в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна. Згідно ПУЕ воно відноситься до приміщень з підвищеною безпекою .

Для живлення елементів установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю.

Причини ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом можуть бути такими:

- замикання на корпусі;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і, як наслідок, втрата ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у випадку короткого замикання.

Для забезпечення електробезпеки передбачені організаційні і технічні заходи:

- Інструктаж і навчання безпечним методам праці.
- Установлення плакатів і знаків безпеки (на небезпечних місцях - джерелах живлення, на регуляторах, і т. ін.)
- Вирівнювання потенціалу.
- Ізоляція струмоведучих частин. Контроль ізоляції здійснюється прибором ПНКИ. $R_{із}=0,5\text{МОм}$
- Використання електрозахистних засобів, у т.ч. діелектричних рукавичок, інструментів з ізолюючими ручками, показчиків напруги.
- Захисне занулення.
- Захисне відключення.

Так як маємо установку з глухозаземленою нейтраллю, то використовуємо захисне занулення (рисунок 3.13).

Занулення виконують електричним з'єднанням металічних частин електроустановок з заземленою точкою джерела струму за допомогою нульового захисного провідника.

В аварійному режимі

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{z + r_0} = \frac{220}{0,2 + 0,4} = 366,67 \text{ A} > 300 \text{ A}$$

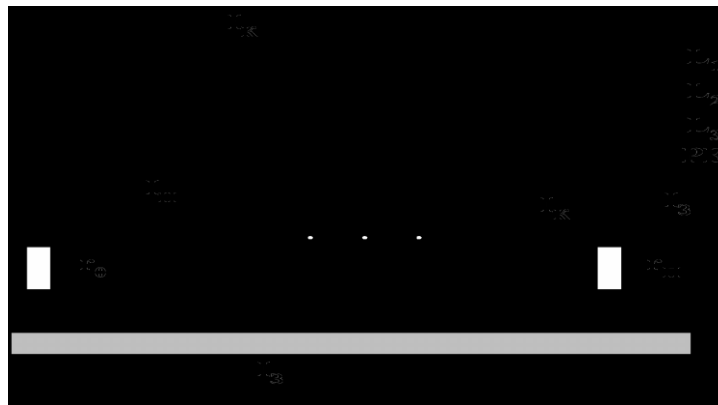


Рисунок 3.13 – Захисне занулення

Параметри відповідають ГОСТ 12.1.030-87

3.4.3 Виробничий шум та вібрації

Джерела виробничого шуму та вібрації:

- компресор

Шум може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси організму людини. Фізіологічні та біологічні наслідки можуть з'являтися у формі порушення функцій слуху та інших аналізаторів, зокрема вестибулярного апарату, координуючої функції кори головного мозку, нервової системи, систем травлення і кровообігу.

Встановлено, що втрата слуху настає при впливі шуму в діапазоні частот 3000 – 6000 Гц, а порушення розбірливості мови - при частотах 1000 – 2000 Гц. Максимальна вірогідність втрати слуху протягом перших десяти років роботи і з плином часу ця небезпека зростає.

Несподівані та різкі шуми можуть викликати переляк та неадекватну поведінку. Постійний шум може негативно впливати на сенсорні функції

знижуючи, наприклад, швидкість руху очей, звуження поля зору, викликаючи зміну кольорового сприйняття, порушення рівноваги, втрату больової чутливості.

Індивідуальні особливості людини, пов'язані з різними психологічними реакціями на вплив шуму суттєво впливають на його сприйняття. Шум не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 10- 15%, але нерідко призводить до професійних захворювань. Матеріальні збитки від цих захворювань значно більші, ніж від інших професійних захворювань. У зв'язку з цим боротьба з шумом має не лише санітарно - гігієнічне, але й велике техніко - економічне значення. Тому необхідно розробити комплекс інженерно - технічних та організаційних заходів щодо зниження шуму до нормативних значень.

Рівень тиску звуку в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку (дБА) для постійних робочих місць при працюючій установці, встановлені за ДСН 3.3.6.037-99. Так як шумові характеристики електродвигунів згідно ГОСТ 16372-84 перевищують передбачені ДСН норми допустимих рівнів звукового тиску рівня звуку і еквівалентних рівнів звуку на робочих місцях, то в цьому випадку необхідно вжити заходів щодо зниження шуму до нормативних значень.

Розрахунок зниження шуму і додаткового звукопоглинання

Лінія для регенерації знаходиться в приміщенні довжиною 30 м , шириною 10 м, висотою 6 м і об'ємом 1800 м³.

Рівень звукової потужності виробничої лінії (джерело шуму) наведено в таблиці 2.2. Загальна площа огорожувальних поверхонь = 1260 м.

Потрібно визначити величину додаткового звукопоглинання ΔA_n для точки, розташованої на віддалі 6 м від джерела шуму і вибрати конструкцію звукопоглинача.

Таблиця 3.3 – Акустична потужність джерела шуму

Середньо-геометрична частота Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівень звукової потужності дБ	93	95	98	95	96	97	98	93

Визначаємо величину граничного радіусу за формулою:

$$r = 0.2 \sqrt{B_{8000}} \text{ м}$$

Для об'єму $V=1800\text{м}^3$ знаходимо постійну приміщення (категорія б, таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Вибір індексу прямої

Опис приміщення	Індекс прямої
Без меблів, з невеликою кількістю людей (металообробні цехи, вентиляційні камери, генераторні, машинні зали, випробувальні стенди і т.п.).	а
З жорсткими меблями або з невеликою кількістю людей і м'якими меблями (лабораторії, ткацькі та деревообробні цехи, кабінети і т. п.).	б

Визначаємо B_{1000} за графіком; $B_{1000}=100\text{м}^2$,

$$B_{8000}=\mu B_{1000}$$

де μ частотний множник, який знаходиться по таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Частотний множник μ

Об'єм приміщення м^3	Середньо геометрична частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1800	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

тоді $B_{8000} = \mu B_{1000} = 100 \cdot 6 = 600 \text{ м}^2$.

При таких вихідних даних:

$$r = 0,2\sqrt{B_{8000}} = 0,2\sqrt{600} = 4,9 \text{ м.}$$

Величина очікуваного рівня звукового тиску визначається за формулою:

$$L = L_p + 10 \lg \left(\frac{a}{S} + \frac{4}{B_{\text{ин}}} \right),$$

де L_p — октавний рівень звукової потужності шуму, дБ;

S — площа уявної поверхні правильної геометричної форми, що оточує джерело і проходить через розрахункову точку, м^2 .

Тоді необхідне зниження рівнів звукового тиску в розрахунковій точці від одного джерела шуму визначається як різниця очікуваного рівня звукового тиску в розрахунковій точці до реалізації заходів щодо зниження шуму L та допустимого рівня $L_{\text{доп}}$:

$$\Delta L_n = L - L_{\text{доп}} \quad \partial B \lim_{x \rightarrow \infty}$$

При визначенні ΔL_n як $L_{\text{доп}}$ приймаємо криву граничного спектра ГС-75. Розрахунок наведено в таблиці 3.6.

В зоні відбитого звуку ΔL_n такі, що звукопоглинальне облицювання може забезпечити необхідне зниження рівня звукового тиску. За графіками знаходимо величину ΔA_n додаткового звукопоглинання. Значення ΔA_n знаходимо для октавних смуг, в яких має місце максимум частотної характеристики f -1000 та 2000 Гц.

Вибираємо плити “Вініпор” напівжорсткі товщиною 50 мм з повітряним прошарком 150мм.

Визначається необхідна площа облицювання. Результати розрахунку наведено в таблиці 3.7. Загальна площа облицювання складає 560 м^2 (стеля – 300 м^2 і стіни – 260 м^2). Це відповідає необхідній величині площі облицювання.

Таблиця 3.6– Розрахунок необхідного зниження шуму

Величина, що визначається	Одиниці вимірювання	Середньо геометрична частота октавної смуги, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p	дБ	93	95	98	95	96	97	98	93
B_{1000}	м	-	-	-	-	100	-	-	-
μ	-	0,5	0,5	0,5 5	0,7	1	1,6	3	6
$B=\mu B_{1000}$	м	50	50	55	70	100	160	300	600
$a'/2\pi r^2$ ($a'=1, r=6$ м)	-	4 10^{-3}	4 10^{-3}	4 10^{-3}	4 10^{-3}	4 10^{-3}	4 10^{-3}	4 10^{-3}	4 10^{-3}
$4/B$	м ²	0,08	0,08	0,073	0,05 8	0,04	0,02 5	0,013	0,0 06
$\Sigma=4/B+a'/2\pi r^2$	м ²	8,4* 10^{-2}	8,4* 10^{-2}	7,7* 10^{-2}	6,2* 10^{-2}	4,4* 10^{-2}	2,5* 10^{-2}	1,7* 10^{-2}	1* 10^{-2}
$10/\lg\Sigma(4/B+a'/2\pi r^2)$	-	- 11,8	- 11,8	-11,1	- 12,1	- 13,6	- 15,4	-17,7	-20
$L= L_p+10/\lg\Sigma^*$ ($4/B+a'/2\pi r^2$)	дБ	81	83	87	83	82	81	80	73
$L_{\text{доп}}(\text{ГС-75})$	дБ	93	86	81	78	75	73	71	70
$\Delta L_n=L-L_{\text{доп}}$	дБ	-	-	6	5	7	8	9	3

Таблиця 3.7 – Розрахунок додаткового звукопоглинання

Величина, що визначається	Одиниці вимірювання	Середньоггеометрична частота октавної смуги, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
B	м ²	50	50	55	70	100	160	300	600
$B+S$	м ²	1310	1310	1315	1330	1360	1420	1560	1860

Продовження таблиці 3.7

Величина, що визначається	Одиниці вимірювання		Середньгеометрична частота октавної смуги, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$a=B/(B+S)$	-	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,11	0,19	0,32	
k	-	-	-	0,13	0,1	0,22	0,48	0,41	0,2	
ΔA_H	м ²	-	-	175	150	300	550	500	250	
$a_{ліч}$	-	-	-	0,83	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
$S_{ліч}=\Delta A_H/a_{ліч}$	м ²	-	-	210	150	300	550	500	250	

Використання для акустичної обробки цеху звукопоглинальних плит забезпечує зниження рівнів відбитого звуку, а рівні звукового тиску в контрольній точці не перевищують допустимих величин, тобто 65 дБА.

В такому випадку величина загальної технологічної вібрації на постійних робочих місцях при працюючій установці у виробничих приміщеннях не перевищує норм, встановлених за ДСН 3.3.6.039-99.

3.4.4 Пожежна безпека та надзвичайні ситуації

У процесі роботи обладнання не використовуються вибухонебезпечні речовини. Виходячи з цього технологічний процес регенерації відноситься до категорії Д (ОНТП-24-86).

Стійкість споруди за ПУЕ відповідає ступеню вогнестійкості II. Згідно ПУЕ клас зони установки II-Па.

Причини, що можуть викликати загорання:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки;

Засоби запобігання виникненню пожежі:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;

- паління тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- наявність засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявність засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, вогнегасники).

Для гасіння невеликих ділянок загорання при виключеному та включеному (до 1000В) електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (6 шт.) та установки пожежогасіння порошкові закачані типу «САМ9» (15 шт.).

Для захисту органів дихання застосовують повітряний апарат МПА-4х20.

В приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів одне від одного повинні бути встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу повинна бути не більше 40 метрів.

Кількість виходів - не менше двох. Ширина дверей евакуиходу - 2 метри. Двері евакуиходу повинні відкриватись на зовні.

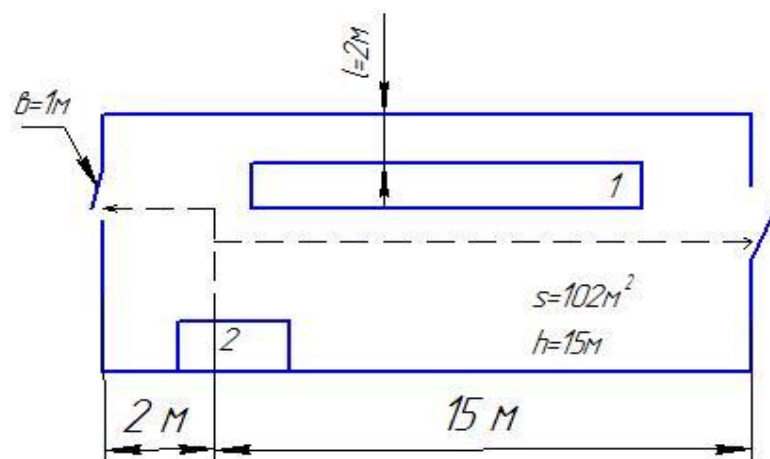


Рисунок 3.14 – План евакуації

Відповідність обладнання до вимог охорони праці

1. Перед початком роботи необхідно перевірити наявність усіх заземлень.

2. Шафа керування приводом закрита.
3. Підходи до електроприводів, пульта і шаф вільні.
4. Робота в спецодязі.
5. На випадок можливого самозаймання передбачені засоби гасіння.
6. Рівень шуму, вимірюваний при роботі машини, не перевищу 75 Дб на частоті 1000 Гц.
7. Під час роботи лінії категорично заборонено:
 - проводити ремонтні роботи;

Відповідно до закону про охорону праці і національної програми по охороні праці, виробничі будівлі, споруди, устаткування, технологічні процеси повинні відповідати вимогам, що забезпечують безпечні умови праці.

3.5 Висновки

- Розроблена методика дослідження регенерації рулонованих мембранних модулів в пульсаційному режимі.
- Вдосконалено експериментальні установки
- Проведено експериментальні дослідження, результати яких дозволяють зробити висновок, що застосування пульсацій підвищує ефективність регенерації мембранних модулів. Крім того, існує можливість підбирати найбільш раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні

4. ОБГРУНТУВАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Вступ

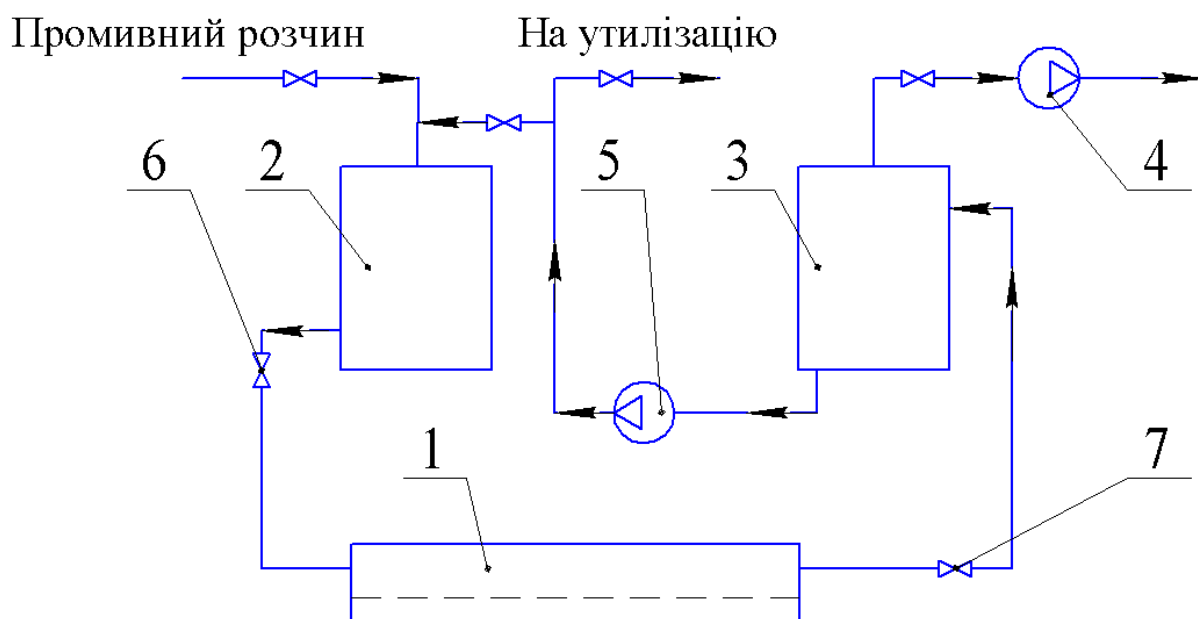
Сучасні напрямки розвитку технологій водопідготовки з використанням мембранних методів розділення (в першу чергу зворотного осмосу) як для побутових так і технологічних потреб спрямовані на забезпечення надійної та безперервної роботи як всієї системи в цілому, так і мембранних апаратів зокрема [42, 43, 18, 44].

Як правило зворотноосмотичні установки підготовки води включають окрім каскаду мембранних модулів (однопрохідного або з рециркуляцією [5]) також систему попередньої підготовки води, насоси та постфільтри (для проведення ремінералізації питної води, знезараження тощо) [5, 43]. При цьому, попередня підготовка може включати традиційні методи обробки, мембранні методи та інші специфічні. Регенерація забруднених мембранних модулів може відбуватися окремих апаратах з вилученням модуля з установки, або в технологічній лінії (cleaning-in-place), що є ефективнішим методом [45]. Зазвичай система регенерації складається з ємності з промивним розчином та циркуляційного насосу [44].

У роботі [14] для регенерації було запропоновано використовувати температурну кавітацію [45, 46]. Такий спосіб забезпечує відновлення мембрани без її пошкодження. Крім цього можлива утилізація утворених стоків промивної рідини.

Недоліком такого способу є те, що промивний розчин проходить через зворотноосмотичну мембрану лише один раз, що призводить до перевитрати промивного розчину.

Тому було запропоновано проводити процес регенерації в циркуляційному режимі (рисунок 4.1).



мембранний апарат – 1, ємність з промивним розчином – 2, проміжна ємність – 3, вакуум-насос – 4, циркуляційний насос – 5, регулювальний клапан – 6, клапан – 7.

Рисунок 4.1 Принципова схема методу відновлення зворотноосматичних мембран

Спосіб полягає в наступному: за рахунок вакуум-насоса 4 в проміжній ємності 3 створюється розрідження і перепад тисків в проміжній ємності 3 та ємності з промивним розчином 2. За рахунок цього промивний розчин буде перекачуватись з ємності з промивним розчином 2 через мембранний апарат 1 в проміжну ємність 3. Оскільки в мембранному апараті підтримується розрідження в ньому виникають сприятливі умови для виникнення явища гідродинамічної кавітації, яка полягає в локальному закипанні промивної рідини, і утворення на поверхні осаду бульбашок пари. При русі потоку рідини відбувається стиснення бульбашок пари, внаслідок чого виникають локальні гідродинамічні удари, які руйнують пограничні шари осаду та забезпечують відновлення поверхні контакту фаз між промивною речовиною та шаром осаду. На поверхні контакту фаз відбувається розчинення осаду і його видалення разом з потоком промивної рідини. При цьому нерозчинені частинки осаду органічної та колоїдної природи виводяться з мембрани разом з промивним розчином,

залишаючи поверхню мембрани очищеною. Для забезпечення повторного використання промивного розчину його з проміжної ємності 3 перекачують циркуляційним насосом 5 до ємності з промивним розчином 2.

Така організація способу відновлення зворотноосмотичних мембран забезпечує багаторазове використання промивного розчину, що суттєво зменшує його витрати.

4.2 Алгоритм розрахунку часу вилучення осаду

Метою розрахунку – це визначення часу вилучення певної кількості осаду з поверхні мембрани. Це можна зробити за допомогою алгоритму, що ґрунтується на математичній моделі процесу вилучення осаду. Також за допомогою запропонованого розрахунку можна передбачити продуктивність рулонованого мембранного модуля після регенерації.

Вихідними даними для розрахунку є:

- потік пермеату нового мембранного модуля, J_0 , $\text{м}^3/(\text{м}^2/\text{кг})$;
- потік пермеату мембранного модуля після забруднення, J_F , $\text{м}^3/(\text{м}^2/\text{кг})$;
- опір нової мембрани, R_m , м^{-1} ;
- питомий опір шару осаду, α , м^{-2} ;
- робоча різниця тиску, Δp , Па;
- різниця осмотичних тисків, $\Delta \pi$, Па.

Також потрібні фізичні параметри осаду та геометричні характеристики мембранного модуля.

Вибір робочого тиску процесу регенерації проводиться залежності від властивостей мембрани, в першу чергу термічної стійкості. Температура насичення при робочому тиску має становити 75-90% від максимально допустимої температури для даного типу мембран. Вибір розчинника залежить від властивостей осаду, зокрема, показника рН.

Алгоритмічна схема розрахунку представлена на рисунках 4.2 та 4.3. Порядок розрахунку.

В блоці 2 відбувається ввід вихідних даних. В блоці 3 обираються параметри регенерації, які включають значення критерію Рейнольдса та фізичні властивості промивного розчину.

За значеннями потоків нової та забрудненої мембран визначається опір шару осаду. При цьому допускається, що величина опору шару концентраційної поляризації нехтовно мала, порівняно з опором шару осаду. Таке припущення призведе до більших значень часу розчинення, однак дасть достатній запас часу, який компенсує допущення, що були прийняті при розробці математичної моделі. З рівняння (2.1) у врахуванням прийнятих допущень для чистої мембрани маємо:

$$R_m = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu J_0} . \quad (4.1)$$

Для забрудненої:

$$R_m + R_c = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu J_F} . \quad (4.2)$$

Тоді опір шару осаду становитиме:

$$R_c = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu J_F} - \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu J_0} . \quad (4.3)$$

Опір шару осаду за рівнянням (4.3) визначається в блоці 4. В блоці 5 визначається маса шару осаду, яка згідно формул (2.3) і (2.10) становитиме:

$$M_{\Pi} = \frac{\rho \cdot F \cdot R_c}{\alpha} . \quad (4.4)$$

В блоці 6, згідно з заданим режимом регенерації та значенням приведенного критерію Рейнольдса визначається витрата промивного розчину, згідно формули:

$$V_c = \frac{Re \cdot v \cdot S}{d_e} . \quad (4.5)$$

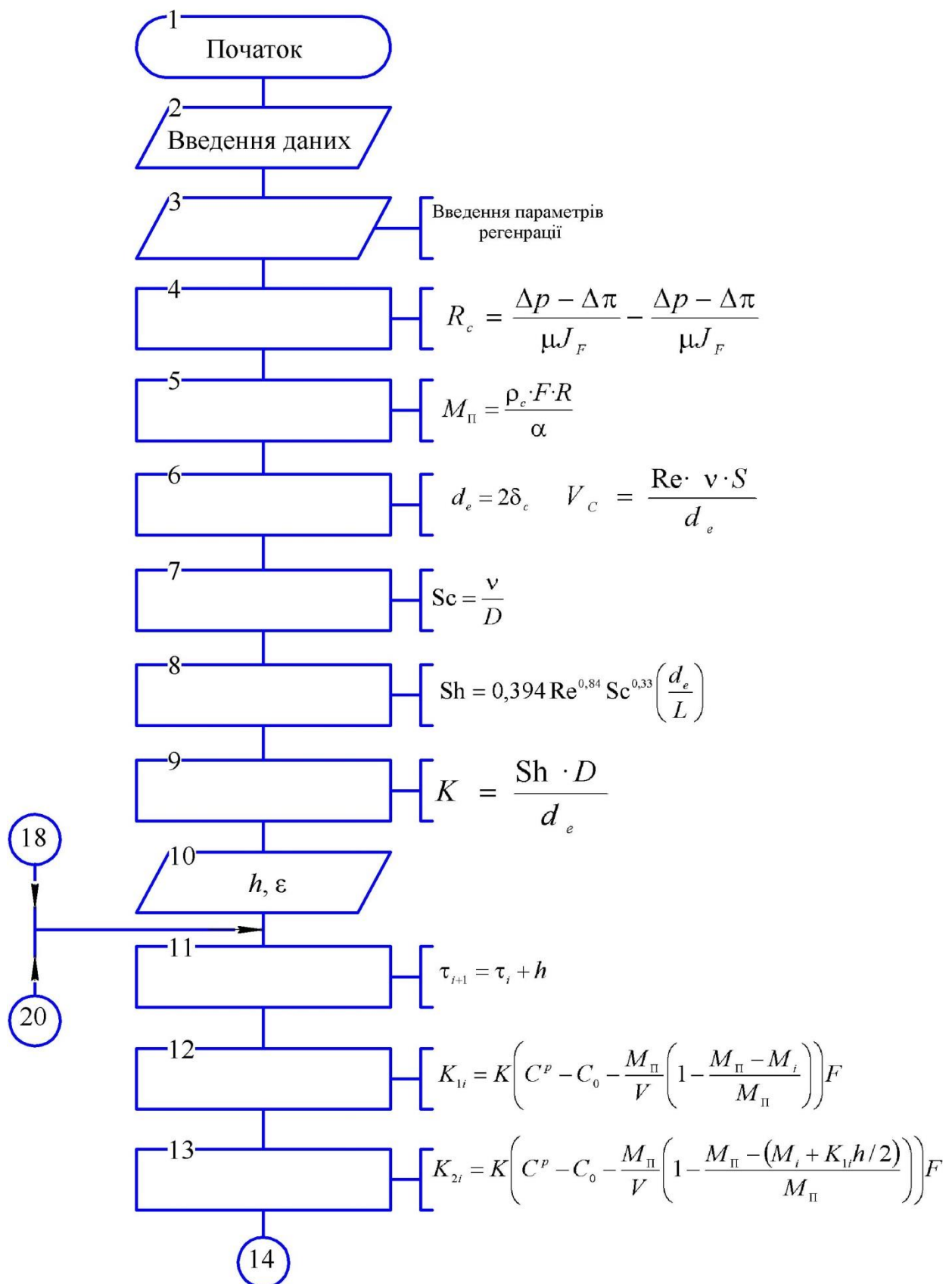


Рисунок 4.2 – Алгоритмічна схема розрахунку часу регенерації

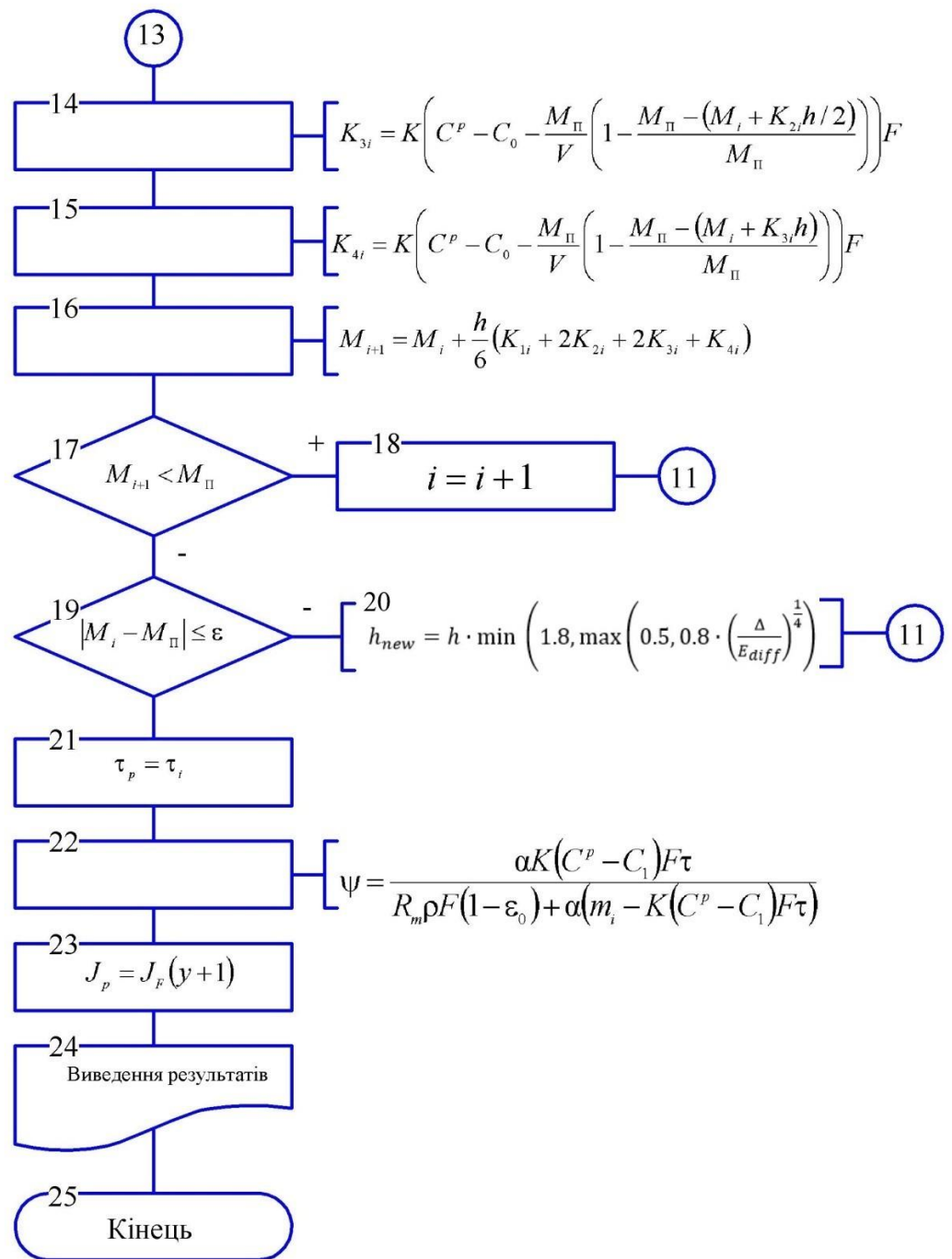


Рисунок 4.3 – Алгоритмічна схема розрахунку часу регенерації
(продовження)

Після цього в блоці 7 розраховується критерій Шмідта, в блоці 8 визначається критерій Шервуда, а в блоці 9 розраховується коефіцієнт масовіддачі. Потім, в блоці 10 задається крок по часу і задана точність, а в блоці 11 розраховується значення часу на наступному кроці. При цьому на нульовому

кроці (в початковий момент часу) значення часу та маси розчиненого осаду приймається рівним нулю. В блоках 12–14 визначаються коефіцієнти Рунге-Кутта, а в блоці 15 визначається значення маси розчиненої речовини на наступному кроці. В блоці 17 маса розчиненого осаду зрівнюється з початковою, якщо значення M_{i+1} нижче за початкову масу осаду, то розрахунок переходить на наступний крок (блок 18) і повторюється з блоку 11. Якщо ні, то перевіряється умова досягнення потрібної точності (блок 19), якщо умова не виконується, то крок зменшується відповідно до формули (2.16) (блок 20) і розрахунок повторюється, починаючи з блоку 11. Інакше, в якості часу регенерації приймається значення τ_i (блок 21) та розраховується коефіцієнт регенерації та потік пермеату після регенерації (блоки 22–23). Оцінка ефективності процесу регенерації відбувається за величиною коефіцієнта регенерації (блок 22). В блоці 24 здійснюється вивід результатів розрахунку.

Запропонований алгоритм може використовуватися як для схем з регенерацією в установках зворотного осмосу, так і у випадку регенерації модулів ,які знімаються з установок мембранного розділення.

Методика розрахунки придатна для зворотноосмотичних і нанофільтраційних мембранних модулів.

4.3 Висновки

- Запропоновано вдосконалений метод регенерації мембранних рулонованих модулів з використанням пульсацій тиску промивного розчину та рециркуляції промивного розчину.
- Встановлено раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні.
- Вдосконалений алгоритм розрахунку процесу регенерації з використанням методу Рунге-Кутта з адаптивним кроком.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1. Опис ідеї проекту

В основу розробки стартап-проекту покладено ідею комерціалізації модернізованого способу регенерації мембранних рулонованих модулів.

А саме, пропонується модернізований спосіб регенерації мембранних рулонованих модулів, який полягає у використанні пульсацій.

Основна вигода полягає в тому, що вона дозволяє підвищити ефективність регенерації мембранних модулів, що дає змогу в більшій кількості повторно їх використовувати.

Сьогодні у всьому світі мембранні методи очищення стічних вод вже не викликають сумнівів у своїй ефективності і конкурентоспроможності. Безліч закордонних компаній виробляють різноманітні мембрани, мембранні модулі і установки очищення природної і стічної води на їх основі.

В процесі зворотного осмосу з часом відбувається забруднення мембран осіданнями зважених часток і погано розчинних сполук. Це призводить до зниження питомої продуктивності мембранної поверхні. Причиною цього являється виникнення біля поверхні мембрани, з напірного боку, концентраційного поляризаційного шару, що перешкоджає проходженню фільтрату крізь мембрану.

Утворення осаду є однією з найбільших проблем при використанні мембран. Відповідно мембрани потрібно регенерувати.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5. 1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Новий спосіб регенерації мембранних рулонованих модулів з використанням пульсацій	1. Аграрна промисловість 2. Фармацевтична промисловість 3. Хімічна промисловості.	1. Покращена якість регенерації. 2. Нижча вартість 3. Підвищена кількість повторного використання

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними послугами найбільш популярних торгових марок ООО АТЕКОН та Water Service, таблиця 5.2.

Таблиця 5.2. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
1.	Ефективність регенерації %	95	90	95	-	-	+
2.	Кількість разів повторного використання	5	4	3	-	-	+
3.	Час регенерації год.	1	5	6	-	-	+
4.	Вартість послуги	400	550	500	-	-	+
5.	Можливість проводити регенерацію на місці	так	ні	ні	-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Гранулятор забезпечує стійке протікання процесу зневоднення рідких композитних систем в псевдозрідженому шарі, одержання готового продукту

заданого фракційного складу та розміру, оперативне керування процесом, зміну необхідних експериментальних величин і технологічних параметрів процесу.

Опис технологічного процесу регенерації мембранних модулів з використанням пульсацій наведено в пункті 4.1.

Таблиця 5.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Шлях регенерації	Регенерація проходить гідродинамічним методом	Дані технології існують. В доробці їх є необхідності.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.
2	Шлях регенерації	Регенерація проходить за допомогою хімічних речовин	Дані технології існують. В доробці їх немає необхідності.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 1 – Регенерація гідродинамічним методом з використанням пульсацій				

Проаналізувавши технологічну здійсненність проекту можна зробити висновок, що проект можна реалізувати. Для реалізації проекту обрано технологію регенерації мембранних модулів гідродинамічним методом зважаючи на необхідність цих методів в доробці.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 5.4.

Середня норма рентабельності в галузі 20% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 15%. За попереднім оцінюванням можна сказати, що ринок є привабливим для входження [48].

Таблиця 5.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, млн грн	9,8
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 5.5.

Таблиця 5.5-Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Можливість багаторазового повторного використання мембранних модулів.	Підприємства, що займаються очисткою води.	Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.	- якість; - економічна ефективність; - ціна.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 5.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 5.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [48].

Таблиця 5.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока вірогідність появи нових конкурентів	Тенденції зміни числа конкурентів	Зниження ціни
2	Політичні конфлікти між країнами	Може вплинути на продаж послуги	Зміна напрямків роботи
3	Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність», «Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності».	Може вплинути на працездатність проекту, Недостатня підтримка державою нових підприємств. Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця
4	Соціо-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати інноваційні рішення	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання мембран, як модернізацію (альтернатива – повної заміни обладнання)

Таблиця 5.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічний прогрес	Поява нової технології регенерації мембранних модулів	Розробка нового обладнання та технології. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію
2	Демографічні: Зростання населення	Збільшення попиту на регенерацію мембран	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому
3	Соціально-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати нові технології	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання мембран

Отже, було сформовано можливу реакцію компанії появи нових загроз та можливостей. Після чого проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 5.8.

Таблиця 5.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції : Монополістична конкуренція	Є безліч компаній, що надають різноманітні послуги і що конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Послуги кожного виробника відрізняються якимись особливостями.	Створення послуг під замовлення.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна	Створення чогось нового	Створення унікального технології
3. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева	Конкуренція за більш вигідні умови	Удосконалення структури послуг відповідно до потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Зосередження конкурентоспроможності на якості послуг	Постійний моніторинг ринку щодо появи технологій замінників.
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат).
6. За інтенсивністю: не марочна	Репутація проекту	Створення високого рівня ділової репутації, що сприятиме впізнаваності стартапу

5.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 5.9).

Таблиця 5.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	постачальники	клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Фірми, що надають схожі послуги	Можливості в ходження в ринок є, оскільки потребується очищення великої кількості мембран	Транспортування мембранних модулів відбувається своїми силами	Клієнту завжди не-обхідне: Конкурентно спроможні послуги за низькою ціною	Ми маємо конкурентну перевагу – це нижча ціна, та унікальна технологія

Можна зробити висновок, що для того щоб проект був конкурентоспроможним на ринку він повинен бути інноваційним та малозатратним щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, таблиця 5.9, а також із урахуванням вимог споживачів до товару, таблиця 5.5, та факторів маркетингового середовища, таблиці 5.6-5.7, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [48], таблиця 5.10.

Таблиця 5.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
-------	-------------------------------	---

1	Ефективність регенерації	Підвищення ефективності регенерації при мінімальних затратах
2	Сервісне обслуговування	Акцент на подальшій співпраці з існуючим клієнтами.
3	Низька ціна	Зменшення вартості надання послуг шляхом зниження енергозатрат.
4	Екологічність	Безвідходне виробництво

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Таблиця 5.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна	5		△	□				
2.	Якість регенерації модулів	9		□	△				
3.	Асортимент	6	△	□					
4.	Наявність обладнання	0					△ □		

□ – ООО АТЕКОН

△ – «Water Service»,

Сильні сторони проекту: якість регенерації; відносно великий асортимент послуг, що надаються; універсальність застосування модернізованого обладнання

Слабкі сторони проекту: необхідність купівлі імпортої установки.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), таблиця 5.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, таблиця 5.12 [48].

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Унікальність технології 2. Енергоефективність. робота за вільним графіком працівників 3. Ефективність 4. Робота за вільним графіком працівників 5. Якість регенерації; 6. Відносно великий асортимент послуг, що надаються; 7. Універсальність застосування модернізованого обладнання			Слабкі сторони: 1. Малий досвід роботи на ринку 2. Низька дохідність проекту. 3. Необхідність купівлі імпортової установки			
Можливості 1. Створення нових технологій регенерації 2. Залучення до співпраці фахівців в інженерії 3. Модернізація та проектування нового обладнання			Загрози 1. Поява нових конкурентів 2. Політичні конфлікти між країнами 3. Вимушена модернізація виробництва			
	Можливості			Загрози		
Сильні сторони	-	+	-	+	-	+
	+	+	-	+	-	-
	+	+	-	-	-	+
Слабкі сторони	+	-	-	+	+	-
	-	+	-	-	+	-
	-	-	+	-	-	-

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 5.13).

Таблиця 5.33 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Загарбник	Значні	Максимум рік
Наступник	Суттєві	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу **Загарбник**.

5.5 Розроблення ринкової стратегії ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 5.14, [48].

Таблиця 5.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивні- сть конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	2	3	4	5	6
	Підприємства, що займаються очисткою води	Визначатиметься готовністю під- приємств піти на додаткові витрати пов'язані з впровадженням чи імплементації ідеї проекту.	Залежатиме від рівня, темпів розвитку еконо- міки і галузей – споживачів зокрема, а також рівня і характеру підтримки іноваційного підприємства зі сторони держави	Низька	Високі бар'єри входу на ринок
Обрано наступні цільові групи: підприємства, що займаються водопідготовкою різних рівнів.					

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 5.14, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [48].

Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку, таблиця 5.15, [48].

Таблиця 5.15 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Ринкове позиціонування.	Диференціація структури маркетингу.	Передбачає надання послуг важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять послугу відмінною від послуг конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях послуг, бути реальною або уявною.	Стратег. диференціації

Отже, для роботи в обраних сегментах ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 5.16, [48].

Таблиця 5.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні	Стратегія наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 5.4, а також в залежності від обраної

базової стратегії розвитку, таблиця 5.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 5.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.16, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [48].

Таблиця 5.16 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту
Підвищення ефективності, енергоефективності.	Стратегія диференціації	Ефективність, енергоефективність,

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

5.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.17 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [48].

Таблиця 5.17 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Підвищення ефективності регенерації мембранних модулів, енергоефективності.	Ефективність регенерації, енергоефективність.	Ефективність регенерації, Енергоефективність, екологічність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 5.18 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Більший час експлуатації мембран за рахунок регенерації гідродинамічним способом Створення унікальної технології регенерації мембранних рулонованих модулів з дотриманням всіх ГОСТів та ДСТУ.
II Товар у реальному виконанні	Модернізація існуючої технології регенерації мембранних рулонованих модулів. Дотримання стандартів та норм.
III. Товар із підкріпленням	Створення різних видів послуг: консалтингові послуги, проведення аналізу забруднень і надання рекомендацій по експлуатації.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.19. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на послуги-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Відповідно до розміру мембран, ціна на регенерацію варіюється від 500 до 900 грн/штука	Відповідно до розміру мембран, ціна на регенерацію варіюється від 800 до 1200 грн/штука	Промисловий ринок залежить від замовлення послуг	Ціна на товари нижча ніж в конкурентів

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 5. 20).

Таблиця 5.20 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник послуг	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля оптом	Якість послуги, швидкість перевезення до клієнта	Досить глибока	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, таблиця 5.21, [48].

Таблиця 5.21 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Цільові клієнти орієнтовані на використання вузько-спеціалізованих комунікацій, що визначаються галузевими особливостями їх приналежності.	Інтернет, виставки, семінари, друкована продукція.	Спеціалізовані виставки Присвячені технологіям очистки води: «Фильтры и технологии очистки воды», «AquaPro», «Aqua Ukraine»	Привернути увагу до унікальності ідеї стартапу	«Рушій на сила інновацій»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній

аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

5.7 Висновки

1. Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

2. Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

3. Наявність попиту, що визначається потребою підвищення ефективності, енергоефективності, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

4. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі – дослідження процесу регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі.

1. Обґрунтовано фізичну модель процесу розчинення осадів в умовах пульсації
2. Розвинено математичну модель процесів масообміну в стіснених умовах в умовах пульсації при регенерації рулонованих мембранних модулів
3. Отримано розв'язок математичної моделі методом Рунге-Кутта з використанням адаптивного кроку. Встановлено, що ці методи рівноцінні.
4. Розвинено методику експериментальних досліджень регенерації рулонованих мембранних модулів в умовах пульсації та вдосконалено експериментальні установки. За результатами експериментальних досліджень визначено вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації.
5. Встановлено раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні
6. На основі результатів наукових досліджень запропоновано найбільш раціональні режими проведення регенерації, які відповідають значенням маси промивного розчину, який набирається за один цикл пульсації 0,2 – 0,25 кг., часу витримки 30 – 40 с. та кількості циклів пульсацій 8 – 10. В таких режимах забезпечується значення коефіцієнту регенерації на 15 – 30 %.
7. Запропоновано вдосконалений метод регенерації мембранних рулонованих модулів з використанням пульсацій тиску промивного розчину та рециркуляції промивного розчину.

ВЫВОДЫ

Диссертационная работа направлена на решение важной научно-технической задачи - исследование процесса регенерации мембранных модулей в пульсационном режиме.

1. Обосновано физическую модель процесса растворения осадков в условиях пульсации

2. Развита математическая модель процессов массообмена в стесненных условиях в условиях пульсации при регенерации рулонных мембранных модулей

3. Получены решение математической модели методом Рунге-Кутты с использованием адаптивного шага. Установлено, что эти методы равноценны.

4. Развита методика экспериментальных исследований регенерации рулонных мембранных модулей в условиях пульсации и усовершенствовано экспериментальные установки. По результатам экспериментальных исследований определено влияние параметров пульсации на эффективность регенерации.

5. Установлено рациональные режимы проведения процесса регенерации, которые будут отвечать высоким значением массы промывочного раствора, что набирается за один цикл пульсации, и количества циклов пульсации, и меньшим значением продолжительности выдержки при разрежении

6. На основе результатов научных исследований предложены наиболее рациональные режимы проведения регенерации, которые соответствуют значениям массы промывочного раствора, что набирается за один цикл пульсации 0,2 - 0,25 кг., Времени выдержки 30 - 40 с. и количества циклов пульсаций 8 - 10. В таких режимах обеспечивается значение коэффициента регенерации на 15 - 30%.

7. Предложены усовершенствованный метод регенерации мембранных рулонных модулей с использованием пульсаций давления промывочного раствора и рециркуляции промывочного раствора.

CONCLUSIONS

The dissertation is aimed at solving an important scientific and technological problem - studying the process of regeneration of membrane modules in pulsating mode.

1. The physical model of the process of dissolution of sediments under the conditions of ripple is substantiated

2. A mathematical model of mass transfer processes under stress conditions under the conditions of pulsation during regeneration of rolled membrane modules is developed.

3. The solution of the mathematical model by the Runge-Kutt's method using an adaptive step is obtained. It is found that these methods are equivalent.

4. The method of experimental studies of regeneration of coiled membrane modules in the conditions of pulsation has been developed and experimental installations have been improved. According to the results of experimental research, the influence of the pulsation parameters on the efficiency of regeneration has been determined.

5. There are established rational regimes of the process of regeneration, which will correspond to the higher values of the mass of the washing solution, which is recruited in one cycle of pulsation, and the number of cycles of ripple, and the lower value of the duration of exposure to dilution

6. Based on the results of scientific research, the most rational modes of regeneration are proposed, which correspond to the values of the mass of the washing solution, which is recruited in one cycle of pulsation 0,2 - 0,25 kg., The time of endurance is 30 - 40 s. and the number of cycles of ripples 8 - 10. In such modes the value of the regeneration coefficient is provided at 15 - 30%.

7. An improved method of regeneration of membrane roll modules with the use of pressure flushes of the washing solution and recirculation of the washing solution is proposed.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Симан І.В., Гулієнко С.В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» – 2018 – Випуск №5 – с. 51-56.

2. Симан І.В., Гулієнко С.В. Визначення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації мембранних модулів // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» – 2018 – Випуск №7 – с. 51-54.

Патенти на корисні моделі та винаходи:

1. Заявка 201802223 Україна Спосіб відновлення зворотноосмотичних мембран / І.В. Симан, С. В. Гулієнко; заявники І.В. Симан, С.В. Гулієнко – № u 2018 02223; заявл. 05.03.2018.

Тези і матеріали наукових конференцій:

1. Симан І.В., Кучерук Д.Д. Підвищення ефективності баромембранних процесів.// Збірник тез XI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- ст. 54-55.

2. Симан І.В., Кучерук Д.Д. Перспективи використання керамічних мембран для очищення стічних вод нафтопереробних підприємств.// Збірник тез XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- ст. 55-56.

3. Симан І.В., Гулієнко С.В. Особливості масообміну при регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі.// Збірник тез XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- ст. 36-37

4. Симан І.В., Гулієнко С.В. Визначення ефективності регенерації мембранних модулів в пульсаційному режимі// Збірник тез XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- в публікації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Свитцов А.А. Мембранные технологии в России // The Chemical Journal /Химический журнал. 2010. №10. С.22.26.
2. Баландина А.Г., Хангильдин Р.И., Ибрагимов И.Г., Мартяшева В.А. Развитие мембранных технологий и возможность их применения для очистки сточных вод предприятий химии и нефтехимии // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 5. С.336-370.
3. Kilgus M., Gepert V., Dinges N., Merten C., Eigenberger G., Schiestel T. Palladium coated ceramic hollow fibre membranes for hydrogen separation. Desalination 2006. Pp. 95-96/
4. Тимашев С.Ф. Физикохимия мембранных процессов. М.: Химия, 1980. 232 с.
5. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. Пер. с англ. М.: Мир, 1999. 513 с.
6. Хванг С.Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. Пер. с англ. М.: Химия, 1981. 464 с.
7. Андрианов А.П. Исследование и оптимизация работы установок очистки воды методом ультрафильтрации: автореф. дис... М.: МГСУ. 2003. 22 с.
8. Тверской В.А. Мембранные процессы разделения. Полимерные мембраны. М.: МИТХТ им. М.В.Ломоносова, 2008. 59 с.
9. Орлов Н.С. Ультра - и микрофильтрация. Теоретические основы. М.: МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1990. 174 с.
10. Дитнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
11. Свитцов А.А. Введение в мембранные технологии. М.: ДеЛи принт, 2007. 280 с.

12. Хохрякова Е.А., Резник Я.Е. Водоподготовка / Под ред. д.т.н. С.Е. Беликова. — Москва: Издательский Дом «Аква-Терм», 2007. — С. 100-112. — 240 с.
13. Волков С.В., Шахов С.В., Антипов С.Т. Аппарат для ультрафильтрации и обратного осмоса (Патент SU 1807883)
14. Гулієнко С.В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ».- 2016. Гулієнко С.В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ».- 2016.
15. Baker R. W. Membrane technology and applications. – 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. – 2004.
16. Porter M. Handbook of industrial membrane technology. – Westwood, New Jersey: Noyes publications. – 619 p.
17. Дытнерский Ю.И., Кочаров Р.Г., До Ван Дай. Некоторые закономерности процесса разделения бинарных растворов неорганических солей обратным осмосом. Теоретические основы химической технологии, 1975. Т. 9. №1. – 26 с.
18. Орестов Є.О., Мітченко Т.Є. Фізикохімічні основи дії інгібіторів фоулінгу мембран зворотного осмосу та шляхи їх оптимального використання // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2013. №2(12). С. 3-17
19. Федоренко В.И. Ингибирование осадкообразования в установках обратного осмоса // Серия Критические технологии. Мембраны.- 2003.- №2. С. 23-30.
20. Первов А.Г., Андрианов А.П., Телитченко Э.А. Влияние биогигиического загрязнения на работу обратноосмотических и ультрафильтрационных элементов // Серия Критические технологии. Мембраны. 2004.- №1.- С.3-18.

21. Кочаров Р.Г. Основы технологического расчета мембранных аппаратов для разделения жидких смесей. Труды МХТИ им. Д.И.Менделеева.- 1982. Вып. 122. -39-51 с.
22. Духин С.С., Кочаров Р.Г, Гутиеррес Л.Э.Р. Расчет селективности мембран при обратноосмотическом разделении многокомпонентных растворов электролитов с учетом межфазного скачка потенциала // Химия и технология воды, 1987, т. 9, №2.-99-103 с.
23. Ісаєв С.Д., Брик М.Т. Запобігання забрудненню і регенерація мембран, що використовуються в процесах водоочистки. Наукові записки. Том 21. Біологія та екологія. 2003. С.50-58.
24. Gun T. Membrane Cleaning //Desalination.- 1989.- Volume 71., Issue 3. – P. 325–335.
25. Garth S, Ron T. Food Technol.-1991.-V.45.-P. 98.
26. Ладыгин К.В. Ультразвуковая очистка обратноосмотических мембран при обезвреживании фильтрата полигонов твердых бытовых отходов. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Московский государственный машиностроительный университет. Москва. 2015 г. 98 с.
27. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация.- М.: «Химия», 1978.-С. 176, 168. – 352 с.
28. Карелин Ф.Н. Обессоливание воды обратным осмосом. М: Стройиздат, 1988.
29. Кавицкая А.А. Химия и технология воды.- 1990.- Т.12.- С. 875.
30. Ebrahim S., Malik A. Membrane fouling and cleaning at drop //Desalination. – 1987 – Volume. 66.– P.201–221.
31. Кретов И.Т., Антипов С.Т., Шахов С.В., Ключников А.И. Черемушкина И.В., Рязанов А.Н. Мембранный аппарат с погружным фильтрующим элементом (Патент RU 2148427).

32. Патент РФ № 2128558 «Способ автоматической очистки фильтрующего элемента и система для его осуществления». – в тексті 14, а потім одразу 17
33. Кардашина Л.Ф., Розенталь О.М. «Способ очистки мембран с селективной проницаемостью», Патент РФ № 2119379.
34. Гулієнко С.В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд / Гулієнко С.В., Симан І.В. // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» – 2018 – Випуск №5 – с. 51-56.
35. Korniyenko Y., Gulienko S., Lialka M. Mathematical simulation of fouled modules regeneration // Ukrainian Food Journal. – 2015. – Volume 4 – P. 481–493.
36. Корнієнко Я.М. Оцінка ефективності регенерації відпрацьованих рулонованих мембранних модулів / Я.М. Корнієнко, С.В. Гулієнко, М.О. Лялька // Наукові парці ОНАХТ. – 2015. - Випуск 47. - Т.1 – с.19-21.
37. Аксельруд, Г. А. Растворение твердых веществ [Текст]: научное издание / Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. - М. : Химия, 1977. - 272 с. : ил.
38. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – 3-е изд., перера. и доп. М.: Высш. шк., 1979. – 439 с., ил.
39. Runge-Kutta Methods [Електронний ресурс]. – Назва з екрану. – Режим доступу – <http://www.math.utah.edu/~pa/6620/rkm.pdf>
40. A. Foroush Bastani, S. Mohammad Hosseini. A new adaptive Runge–Kutta method for stochastic differential equations // Journal of Computational and Applied Mathematics – 2007. – p. 631-644
41. Гулієнко С.В. Визначення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації мембранних модулів / Гулієнко С.В., Симан І.В. // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» – 2018 – Випуск №7 – с. 51-54.

42. Vrouwenvelder H. Biofouling of spiral wound membrane systems. PhD thesis Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2009.

43. Abdel-Jawad M., El-Sayed E., Ebrahim S., Al-Saffar A., Safar M., Tabnabaei M., Al-Nuwaibit G. Fifteen years of R&D in seawater desalination at KISR. Part II. RO system performance // Desalination. – 2001. – Vol. 135. – p. 155-167.

44. Hydranautics Nitto Group Company. Technical Service Bulletin. Foulants and Cleaning Procedures for composite polyamide RO Membrane Elements [Електронний ресурс]. – Назва з екрану. – Режим доступу – <http://www.membranes.com/docs/tsb/TSB107.pdf>

45. Kim Y.-B., Lee K., Chung J.-H. Optimum cleaning-in-place conditions for stainless steel microfiltration membrane fouled by terephthalic acid solids // Journal of Membrane Science. – 2002 Vol. 209. – P. 233-240.

46. Григоренко О.В., Корнієнко Я.М., Гулієнко С.В. «Спосіб відновлення зворотноосмотичних мембран», Патент України на корисну модель №99184

47. Гулієнко С.В., Корнієнко Я.М., Лялька М.О. «Спосіб регенерації мембран для процесу зворотного осмосу», Патент України на корисну модель №106923

48. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с

49. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр

даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

50. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>

51. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науковотеоретичного семінару «Междисциплинарні дослідження: теоретикометодологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчальнонауковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

52. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

53. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

54. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : http://futureslog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml

55. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ,

КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим
доступа : http://futuolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml

ДОДАТОК А

ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ
РЕГЕНЕРАЦІЇ

Результати розрахунку параметрів регенерації мембранного модуля за математичною моделлю

Опір мембрани $R_m := 8.073 \cdot 10^{13}$

Питомий опір шару забруднень $\alpha := 8.568 \times 10^{17}$

Початкова маса осаду $M_0 := 0.125 \text{ кг}$

Перепад тиску $\Delta p := 0.3 \cdot 10^6 \text{ МПа}$

Площа поверхні мембрани $F_{\text{мем}} := 0.46 \text{ м}^2$

Температура промивного розчину $t := 45$

Об'єм промивного розчину $V_1 := 15 \cdot 10^{-3}$

Залежність густини розчину від температури

$$\rho(t) := 1000 - 0.0133 \cdot t - 0.0051 \cdot t^2 + 1 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

Залежність коефіцієнта динамічної в'язкості від температури

$$\mu(t) := (1.787 - 0.05372 \cdot t + 0.0008737 \cdot t^2 - 0.000007013 \cdot t^3 + 0.00000002137 \cdot 10^4) \cdot 10^{-3}$$

Динамічна в'язкість розчину $\mu_1 := \mu(t) = 5 \times 10^{-4}$

Маса промивного розчину, що набирається $m_p := 10 \text{ кг}$

Час набирання промивного розчину $\tau_1 := 634 \text{ с}$

Густина осаду

Початкова концентрація в промивному розчині $C_0 := 0$

Густина хлориду заліза $\rho_{\text{FeCl}_3} := 2898$

Молярна маса хлориду заліза $M_{\text{FeCl}_3} := 162.19$

Молярний об'єм $V_c := \frac{162.2}{2.889} = 56.144$

Рівноважна концентрація FeCl_3

$$c_p(t) := 0.0175 \cdot t^2 + 0.05383 \cdot t + 74.463$$

$$C_s := c_p(t) \cdot \frac{1000}{100} = 1.1232 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Коефіцієнт дифузії

$$D := 5.06 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{(t + 273)}{V_c \cdot (0.00125 \cdot 10^3)} = 2.2928 \times 10^{-10}$$

Еквівалентний діаметр $d_e := 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Довжина модуля $L := 0.26$

Площа поперечного перерізу каналу $S := 3.675 \cdot 10^{-4}$

Густина розчину

$$\rho_r := \rho(t) = 989.9853$$

Витрати промивного розчину

$$V_p := \frac{m_p}{\tau_1 \cdot \rho_r} = 1.5932 \times 10^{-5}$$

Швидкість промивного розчину

$$w := \frac{V_p}{S} = 0.0434$$

Критерій Рейнольдса

$$Re := \frac{w \cdot d_e \cdot \rho_r}{\mu_1} = 60.0875$$

Критерій Шмідта

$$Sc := \frac{\mu_1}{\rho_r \cdot D} = 2.2028 \times 10^3$$

Критерій Шервуда

$$Sh := 0.394 \cdot Re^{0.84} \cdot Sc^{0.33} \cdot \left(\frac{d_e}{L} \right) = 0.4197$$

Коефіцієнт перенесення маси

$$\beta := \frac{Sh \cdot D}{d_e} = 1.3748 \times 10^{-7}$$

Початковий час

$$\tau_0 := 0$$

Кінцевий час

$$\tau_k := 1766$$

Кількість точок

$$n := 200 \quad i := 0..n$$

Едіє

$$h := \frac{\tau_k - \tau_0}{n} = 8.83$$

Вузли по часу часу

$$\tau(i) := \tau_0 + i \cdot h$$

Розрахунок дифрівняння

Given

$$\frac{d}{d\tau} M(\tau) = \beta \cdot \left[C_s - \left[C_0 + \frac{M_0}{V_1} \cdot \left(1 - \frac{M_0 - M(\tau)}{M_0} \right) \right] \right] \cdot F$$

$$M(0) = 0$$

$$M := \text{Odesolve}(\tau, \tau_k)$$

$$M1(i) := M(\tau(i))$$

Зміна концентрації в промивному розчині

$$\tilde{N}1(i) := C_0 + \frac{M_0}{V_1} \cdot \left(1 - \frac{M_0 - M1(i)}{M_0} \right)$$

Коефіцієнт регенерації

$$y(i) := \frac{\alpha \cdot \beta \cdot (C_s - \tilde{N}1(i)) \cdot \tau(i) \cdot F}{R_m \cdot \rho_{FeCl3} \cdot F + \alpha \cdot [M_0 - \beta \cdot (C_s - \tilde{N}1(i)) \cdot \tau(i) \cdot F]}$$

$\tau(i) =$	$M1(i) =$	$\tilde{N}1(i) =$	$y(i) =$
0	0	0	0
8.83	-4	0.0418	-3
17.66	-3	0.0836	-3
26.49	-3	0.1254	-3
35.32	-3	0.1673	0.0101
44.15	-3	0.2091	0.0127
52.98	-3	0.2509	0.0152
61.81	-3	0.2927	0.0178
70.64	-3	0.3345	0.0204
79.47	-3	0.3763	0.023
88.3	-3	0.4181	0.0257
97.13	-3	0.4599	0.0283
105.96	-3	0.5017	0.031
114.79	-3	0.5435	0.0336
123.62	-3	0.5853	0.0363
...

Визначено тривалість повного вилучення осаду, зміну маси осаду з часом та значення коефіцієнта регенерації.

ДОДАТОК Б.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ

Результати експериментальних досліджень ефективності регенерації з використанням в якості тестового розчину знесолею води

Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці Б.1

Таблиця Б.1 – Результати експериментальних досліджень регенерації мембранного модуля USTM M-1261-75G

№	Робочий тиск, р, МПа	Вміст солі у вхідній воді, C_f мг/л	Пермеат			Ретентат		
			час заповнення τ , с	Об'єм, V_p , мл	Концентрація, C_p мг/л	час заповнення τ , с	Об'єм, V_r , мл	Концентрація, C_r мг/л
Чиста мембрана								
1	0,2	7	120,53	126	3	120,53	1375	10
2	0,2	7	120,37	132	1	120,37	1380	8
3	0,2	7	120,13	134	1	120,13	1360	7
4	0,2	10	120,19	133	1	120,19	1380	11
5	0,2	10	120,21	134	1	120,21	1395	12
6	0,3	10	120,63	202	0	120,63	1210	13
7	0,3	8	120,66	204	0	120,66	1260	10
8	0,3	8	120,53	202	0	120,53	1230	10
9	0,3	8	120,59	200	0	120,59	1230	10
10	0,3	8	120,16	201	0	120,16	1230	10
11	0,4	6	120,38	279	1	120,38	905	11
12	0,4	6	120,16	273	0	120,16	950	12
13	0,4	6	120,12	272	0	120,12	925	11
14	0,4	6	120,59	275	0	120,59	925	11
15	0,4	6	120,57	275	0	120,57	945	11
16	0,5	8	120,56	327	0	120,56	515	13
17	0,5	8	120,53	333	0	120,53	525	13
18	0,5	8	120,44	333	0	120,44	505	13
19	0,5	8	120,31	325	0	120,31	515	13
20	0,5	8	121,56	335	0	121,56	535	13
Мембрана після забруднення								
1	0,2	8	120,28	60	18	120,28	840	13
2	0,2	8	120,62	61	12	120,62	860	13
3	0,2	7	190	57	12	190	780	10
4	0,2	7	120,5	63	11	120,5	845	9
5	0,2	7	120,54	69	8	120,54	825	9
6	0,3	7	120,05	95	5	120,05	750	9
7	0,3	7	120,41	96	4	120,41	755	8

Продовження таблиці Г.2

№	Робочий тиск, p , МПа	Вміст солі у вхідній воді, C_f мг/л	Пермеат			Ретантат		
			час заповнення τ , с	Об'єм, V_p , мл	Концентрація, C_p мг/л	час заповнення τ , с	Об'єм, V_r , мл	Концентрація, C_r мг/л
9	0,3	14	120,4	94	3	120,4	760	16
10	0,3	14	120,66	97	3	120,66	765	14
11	0,4	14	120,46	126	2	120,46	495	19
12	0,4	14	120,63	125	2	120,63	505	19
13	0,4	14	120,35	127	2	120,35	505	19
14	0,4	14	120,37	124	2	120,37	530	17
15	0,4	14	120,34	125	2	120,34	545	16
16	0,5	8	120,35	153	2	120,35	395	13
17	0,5	8	120,4	156	1	120,4	305	12
18	0,5	8	120,41	155	1	120,41	465	11
19	0,5	8	120,34	158	1	120,34	490	11
20	0,5	8	120,47	157	1	120,47	490	11
Мембрана після промивання								
1	0,2	11	120,34	120	1	120,34	1350	13
2	0,2	11	120,28	124	1	120,28	1360	12
3	0,2	11	120,5	123	1	120,5	1385	13
4	0,2	11	120,37	124	1	120,37	1380	12
5	0,2	11	120,62	125	1	120,62	1365	12
6	0,3	11	120,57	185	0	120,57	1220	12
7	0,3	11	120,78	186	1	120,78	1250	12
8	0,3	14	120,28	186	0	120,28	1230	15
9	0,3	14	120,43	188	0	120,43	1230	16
10	0,3	14	120,19	183	0	120,19	1230	15
11	0,4	14	120,69	247	0	120,69	1000	17
12	0,4	13	120,34	242	0	120,34	995	16
13	0,4	13	120,34	246	0	120,34	995	16
14	0,4	13	120,37	245	0	120,37	995	16
15	0,4	13	120,38	245	0	120,38	1010	16
16	0,5	11	120	303	0	120	645	17
17	0,5	11	120,53	310	0	120,53	625	17
18	0,5	11	120,43	307	0	120,43	640	16
19	0,5	11	120,43	307	0	120,43	650	16
20	0,5	11	120,26	315	0	120,26	675	16

ДОДАТОК В

КОПІЇ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ
МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»

ISSN 2520-2057

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC JOURNAL
«INTERNAUKA»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ИНТЕРНАУКА»

№ 5 (45) / 2018



// Международный научный журнал «Интернаука» // № 5(45), 2018

// Технические науки //

УДК 628.16.081

Гуліснко Сергій Валерійович

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гулиенко Сергей Валериевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Hulienko Serhii

Candidate of Engineering Science (PhD in Engineering), Senior Lecturer of Department of Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Симан Иван Володимирович

магістрант кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Syman Ivan Vladimirovich

магистрант кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Syman Ivan

Master Degree Student of Department of Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ЗАБРУДНЕННЯ МЕМБРАН ТА МЕТОДИ ЇХ РЕГЕНЕРАЦІЇ:
КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД**

**ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕМБРАН И МЕТОДЫ ИХ РЕГЕНЕРАЦИИ:
КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

**MEMBRANE FOULING AND METHODS OF ITS REGENERATION:
A CRITICAL REVIEW**

Анотація. Проведено огляд джерел літератури щодо процесів мембранного розділення водних розчинів і визначено основні проблеми їх розвитку. Відмічено, що найбільший негативний вплив на роботу мембранних установок чинять явища концентраційної поляризації та забруднення на поверхні мембран. Проведено огляд методів регенерації мембранних модулів та визначені напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: мембранне розділення, концентраційна поляризація, опір, регенерація, осад.

Анотація. Проведен обзор источников литературы о процессах мембранного разделения водных растворов и определены основные проблемы их развития. Отмечено, что наибольшее негативное влияние на работу мембранных установок оказывают явления концентрационной поляризации и загрязнения на поверхности мембран. Проведен обзор методов регенерации мембранных модулей и определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: мембранное разделение, концентрационная поляризация, сопротивление, регенерация, осадок.

Summary. The review about literature sources about membrane separation processes of water solutions was carried out and main problems in its development were determined. It was pointed out that main negative effect on membrane plants performance is influenced by phenomena of concentration polarization and fouling on membrane surface. The methods of membrane units regeneration was reviewed and directions of future researches were determined.

Key words: membrane separation, concentration polarization, resistance, regeneration fouling, sludge.

Вступ. Сьогодні у всьому світі мембранні методи очищення стічних вод вже не викликають сумнівів у своїй ефективності і конкурентоспроможності. Безліч закордонних компаній виробляють різноманітні мембрани, мембранні модулі і установки очищення природної і стічної води на їх основі.

Мембранні технології належать до категорії ресурсозберігаючих технологій, застосування яких дозволяє підвищити якість стічних вод, що скидаються, понизити кількість викидів забруднюючих речовин у водойми і мінімізувати забруднення природних вод за рахунок можливості повторного використання очищених стічних вод в замкнутих системах водопостачання.

Широке використання мембранных методів у багатьох промислових процесах можливе завдяки тому, що властивості мембран можуть бути адаптовані до технічних вимог, задоволення яких потрібне для успішного проведення цих процесів [1–8].

Класифікація мембран. Мембрани, що використовуються в різних мембранных процесах, можна класифікувати за різними ознаками.

Найбільш простою являється класифікація усіх мембран на природні (біологічні) і синтетичні, які, у свою чергу, підрозділяються на різні підкласи, виходячи з властивостей матеріалу [9].

Мембранні методи розділення відрізняються типами використовуваних мембран, рушійними силами, що підтримують процеси розділення, а також сферами їх застосування [5].

Найбільше поширення отримали мембранні процеси, що протікають під дією тиску (баромембранні процеси).

Мембрани, що використовуються в цих процесах, залежно від розмірів пор і відповідно розмірів затримуваних часток, можна розділити на 4 типи: зворотн осмотичні, нанофільтраційні, ультрафільтраційні і мікрофільтраційні [10].

Зворотн осмотичні мембрани за селективними властивостями найбільш селективні і ефективні по коефіцієнту розділення розчинів. У них найменші пори. Крім того, існують теорії, які розглядають зворотн осмотичні мембрани як не пористі. Середній відсоток затримання зворотн осмотичними мембранами 97–99% усіх розчинених речовин [11]. Вони

використовуються в харчовій промисловості, фармацевтиці, в системах комунального господарства, а також у багатьох виробничих процесах, де є потреба в отриманні води, підвищеної якості. Як правило, вони є фінішним етапом очищення природної і стічної води [12].

Для реалізації процесів мембранного розділення використовуються декілька типів апаратів, особливості застосування яких наведені в спеціалізованій літературі [13–16].

Забруднення мембран. В процесі зворотного осмосу з часом відбувається забруднення мембран осадками зважених часток і погано розчинних сполук. Це призводить до зниження питомої продуктивності мембранної поверхні. Причиною цього являється виникнення біля поверхні мембрани, з напірного боку, концентраційного поляризаційного шару, що перешкоджає проходженню фільтрату крізь мембрану [17]. Механічні і колоїдні частки в таких умовах мають тенденцію до укрупнення і утворення агрегатів, які можуть відкладатися на мембрані, блокуючи її. Неконтрольований процес накопичення таких осадків при неправильній експлуатації установки може швидко привести до безповоротного погіршення характеристик мембранных апаратів [18, 19].

Зокрема, як показано в роботі [19] зниження продуктивності мембранных установок на 95–97% визначається забрудненням поверхні мембран і лише на 3–5% ущільненням їх капілярно-порової структури. Найбільш розповсюджені типи осадків, як показано в роботах [18, 19] — мінеральні осадки, гідроксиди металів, колоїдні пилки органічного та біологічного походження, які можуть локалізуватися в різних частинах мембранної установки [20]. Причини забруднення мембран визначаються фізико-хімічними та поверхневими властивостями самої мембрани та частинки забруднюючої фази. В деяких роботах відмічається комплексний склад забруднень в промислових зворотн осмотичних установках.

Однією з головних причин забруднення мембран є формування на їх поверхні карбонатних осадків, утворення яких визначається умовами рівноваги, інтенсивністю масообміну при кристалізації, а також наявністю домішок [19].

У випадку полімерних мембран, на ступінь забруднення впливають властивості мембран, в першу чергу морфологія полімеру та гідрофільність поверхні. Зокрема, встановлено, що гідрофобні мембрани в меншій мірі схильні до забруднення, що дозволяє зменшити вплив забруднення за рахунок модифікації мембран [18].

Щоб зменшити швидкість забруднення, розчини, що розділяються, перед поданням в мембранний апарат піддають попередній обробці: проводять коагуляцію з подальшим осадженням, фільтрування на піщаному фільтрі, а потім на мікрофільтрі, підкисляють розчин, щоб запобігти випаданню солей жорсткості і так далі. Проте, рано чи пізно виникає необхідність очищення мембрани від забруднень [14]. Якщо попередня обробка стоку була високоефективною (за вартістю — порівнянною із зворотним осмосом), то очищення мембрани можна проводити раз на місяць і навіть ще рідше, в інших випадках (коли окрім фільтрів нічого не застосовується) це може бути один раз в тиждень [18]. Про необхідність очищення мембрани можна судити по зниженню продуктивності або зростанню гідралічного опору модулі. Наприклад, рулонні модулі рекомендується очищати, коли їх продуктивність знижується на 20% або перепад тиску в напірному каналі модуля зростає в 1,5 рази в порівнянні з першим значенням [21]. Проте, у ряді випадків, при порушенні регламентних термінів очищення мембранных модулів, з концентраційного поляризаційного шару на поверхню мембрани випадає осад, що закриває пори. У цих випадках видалення його дуже затратне [22].

Методи регенерації мембран. Розрізняють такі групи методів регенерації мембран [23, 24]: механічні, гідродинамічні, фізичні, хімічні й комбіновані, що включають частково прийоми перших чотирьох методів.

Механічні методи регенерації мембран можуть бути використані тільки в тих випадках, коли відклади (осади) мають низьку адгезію до поверхні мембрани й мають гелеподібну або пухку структуру, а самі мембрани, як правило, трубчастого типу. Сутність механічних методів полягає в тому, що разом із потоком рідини в напірний канал мембранного апарата вводять еластичні губчасті полімерні кулі, які зчищають забруднення, що утворюються. Обов'язковою умовою використання таких куль є те, що їх діаметр повинен бути суттєво більшим (у 1,1–4 рази) діаметра трубки, в середині якої вони рухаються [10].

При утворенні відкладів, які мають значну спорідненість із поверхнею мембрани, використання суто механічного методу їх очищення не є ефективним. У таких випадках використовуються, як правило, комбіновані механічного очищення із хімічним (кислоти, луги, ПАВ тощо) [10].

Незважаючи на очевидну простоту й ефективність механічних методів очищення, вони мають

ряд суттєвих обмежень і недоліків. Зокрема, як вже було зазначено, вони можуть бути застосовані лише в апаратах трубчастого й, в окремих випадках, плоского камерного типу [14], тобто не використовуються в апаратах зворотного осмосу, які мають іншу конструкцію.

Іншим способом, який полегшує використання механічних методів очищення мембран, слід вважати застосування напівних шарів або динамічних мембран шляхом введення в розчин, що розділяється, дисперсних добавок. При цьому легко видаляються з поверхні мембрани забруднення рухливий динамічний шар із наступним нанесенням нового шару (реформування мембран) [25].

Гідродинамічні способи очищення включають в себе змив із напірного каналу концентраційного поляризаційного шару сильним струменем води, газорідною емульсією, пульсуючим потоком, зворотне промивання пермеатом. Сюди ж відносяться способи, які полягає в різному скиданні тиску, що застосовується у деяких типах мембранных апаратів. При цьому мембрана розширюється і одночасно виникає осмотичний потік зі сторони пермеату, що приводить до підшарування забруднень від мембрани. Після цього вони вивіваються із апарату сильним потоком води в напірному каналі. На практиці найбільш розповсюджені отримав способи, який полягає в промиванні напірного каналу модулів сильним струменем води. Це найпростіший спосіб серед гідродинамічних способів очистити. Промивна вода, в якості якої часто використовується сам розчин який розділяється, з більшою швидкістю прокачується через мембранні апарати при низькому тиску. Чим більше швидкість, тим краще. Обмеженням являється тільки допустимий перепад тиску для модуля, який може стати занадто великим через гідралічний опір. Для рулонних модулів допустима величина перепаду тиску в напірному каналі порядку 0,2 МПа [26].

Подача в напірний канал газорідної емульсії по ефективності може бути вище чим промивка сильним струменем, але складніше в організації і доречніше, тому і рідко використовується на практиці. При подачі в напірний канал пульсуючого потоку виникають гідралічні удари, які сприяють відшаруванню осадів від мембрани [22]. Цей спосіб прийнятний в таких конструкціях апаратів зворотного осмосу, де мембрана, підкладка і опора, яка протидіє тиску, міцно зв'язані одне з іншим і утворюють одне ціле. В іншому разі мембрана швидко вийде з ладу.

При зворотній промивці пермеатом насосом подається під мембрану, проходить через неї у напрямку, протилежному звичайному, і надходить в напірний канал. Завдяки цьому видаляються забруднення із пор мембрани і відшаровуються осадки, які перекривають пори. Цей спосіб можна використати також тільки в таких конструкціях, де мембрана, підкладка і опора утворюють єдине ціле [27].

У порівнянні з хімічними методами очистки гідродинамічні простіші і дешевші. На жаль, а їх допомогою можна видалити тільки концентраційний поляризаційний шар, який не зв'язаний з мембраною [28].

Сутність фізичних методів регенерації полягає у впливі на мембрану електричних та магнітних полів, ультразвуку, п'єзоелектричної вібрації, а також при проведенні мембранного процесу в умовах дії відцентрових сил [23]. У наш час фізичні методи очистки перебувають у стадії експериментальних досліджень.

Також відомі хімічні методи регенерації мембран [23, 28]. Ефективність хімічних методів очищення мембран залежить від ряду факторів: типу і хімічної стійкості мембран, типу і структури забруднень, складу мийного розчину й умов регенерації.

Як компоненти мийних розчинів використовуються різні класи речовин: мінеральні та органічні кислоти, альдегіди, луки, ПАР, енами, солі фосфорних кислот, гідроген пероксид тощо. Слід відзначити, що як і конкретні методи регенерації, так і склад мийних засобів практично завжди є предметом патентування і в науковій літературі не публікуються. Аналіз доступних патентних даних, розміщених у науково-технічній літературі [23], дає можливість згрупувати склади мийних засобів відповідно до класів забруднювачів.

Так, для видалення цільних мінеральних відкладів як основні компоненти мийних розчинів використовують органічні та мінеральні кислоти (шавлева, лимонна, хлоридна, сульфатна), які розчиняють солі кальцію і феруму. Складніше видалити силікати, оксиди і гідроксиди металів, для чого використовують розчини із вмістом фосфатна кислоти, натрій або амоній флуоридів і ПАР (аніонних та нейоногенних) [29].

Для регенерації хімічними методами можуть використовуватися як традиційні хімічні реагенти, так і спеціально розроблені хімічні препарати. При цьому ефективність різних типів реагентів виявляється різною залежно від виду забруднень. Для окремих видів осаду більш ефективним виявляються лужні розчини, тоді в інших випадках ефективнішими є кислоти розчинні, чи ферментні препарати. В деяких випадках більш ефективними виявляються комбінації промивних розчинів. При виборі промивного агента та його концентрації необхідно враховувати хімічну стійкість мембран, оскільки реакція між матеріалом мембрани та промивним агентом призводить до руйнування активного шару мембрани. Крім того, до порушень структури мембрани може призвести затримка у проведенні хімічного промивання через мікробіологічну активність. Було запропоновано ряд комплексних підходів, що включають алагодження роботи системи попередньої обробки та промивання, а також порядок проведення процедур промивання з вилученням окремих компонентів шару забруднень [14].

Регенерацію мембран рекомендується проводити у два етапи: очищення мембран реагентами від забруднень і обробка їх спеціальними реагентами, що забезпечують остаточне відновлення характеристик мембран. До складу останніх входять полімери (полівініловий спирт, кополімер вінілацетату з малеїновим ангідридом тощо) [23]. Двохстадійну регенерацію мембран проводять у циркуляційному режимі.

Накопичений багаторічний досвід щодо хімічної регенерації різних мембран дозволив фірмам-розробникам рекомендувати визначені за складом хімічні реагенти й рецептури їх виготовлення для видалення забруднень різних типів. Прикладом можуть бути рекомендації фірми «Дюпон» (США) щодо хімічної регенерації поліамідних мембран B10 [29, 30].

При проектуванні установок зворотного осмосу способи попередньої очистки оброблюваного розчину і методи очистки мембран від забруднень повинні вибиратися в такій сукупності, щоб забезпечити мінімальну вартість процесу розділення. Якщо згадати на передочисненні та об'ємно змінюємо збільшення затрат на промивання мембран. Перші промислові установки зворотного осмосу експлуатувалися загалом без попередньої очистки початкового розчину, в результаті чого повністю виходили з ладу на протязі декількох тижнів (способи очистки мембран від забруднень тоді ще мало були вивчені).

В наш час вважається, що оптимальні затрати на попередню очистку повинні складати на менше 40–60% від всіх затрат на розділення кінцевого стоку з використанням зворотного осмосу [31].

Якщо промислові установки зворотного осмосу укомплектовані апаратами попередньої очистки і хімічної очистки мембран проводяться з періодичністю, яка рекомендована виробником установок, строк служби зворотного осмосу мембран може складати 3–4 роки [26]. Для захисту мембран від відкладень різних забруднювачів використовують спеціальну речовину — антискант. Антискант вводять у воду, що подається на осмос в незначній кількості (біля 5 грам на 1 м³). Він потрапляє разом з водою на осмос і утворює на поверхні зворотного осмотичних мембран тонку плівку з аскраво вираженими антискантними актонами. Забруднювачі потрапляють на цю плівку, ковають по ній під дією водного потоку, що проходить через мембрану і не можуть закріпитися на поверхні мембрани. Це дозволяє використовувати осмос на антисканті на протязі більш довгого часу без проведення хімічних очисток. Антискант не отруйний, він складається із суміші високомолекулярних органічних кислот. В перше він не потрапляє, так як не може пройти через зворотного осмотичну мембрану [18].

У роботі [14] було розроблено спосіб регенерації рухомих зворотного осмотичних і напівфільтраційних мембранних модулів для підготовки питної та технологічної води шляхом застосування темпера-

турної кавітації, що зумовлює суттєве збільшення терміну їх роботи без порушення якісних характеристик води. Експериментально встановлено, що при тиску $P = 0,005 - 0,009$ МПа і температурі насичення до 45 °С відбувається ефективне видалення осаду з поверхні мембрани без порушення функціональних властивостей мембран у рухомих модулях. Теоретично доведено та експериментально підтверджено, що при застосуванні температурної кавітації досягається відновлення продуктивності зворотного осмотичних мембран до 92% від початкової продуктивності при значеннях $Re = 15 - 25$ і зменшенні в 1,5 рази тривалості процесу в порівнянні з традиційними способами промивання. Запропонований спосіб дозволяє відновити до 92% питомої продуктивності зворотного осмотичних мембранних модулів типу ТРС при зменшенні їх продуктивності до 40%, що в 2 рази перевищує існуючий критичний поріг, при якому можливе ефективне відновлення за існуючими технологіями. Крім того було запропоновано інтенсифікувати процес шляхом підвищення тиску. В такому разі буде відбуватися стиснення парових бульбашок, оновлення поверхні масообміну та колюче подрібнення частинок осаду. Для перевірки даної гіпотези були проведені експериментальні дослідження з використанням різних мембранних модулів та характеристик періодичності циклів підвищення тиску (кількість циклів, тривалість промивання при тиску насичення, кількість промивного розчину, який подавався при підвищеному тиску).

Крім того було доведено, що для випадку періодичного підвищення тиску величина коефіцієнта регенерації більша в 1,6 рази, порівняно з режимом промивання під розрідженням. Отже, одержані результати свідчать про ефективність періодичного підвищення тиску в промивній камері вище тиску насичення для інтенсифікації процесу вилучення осаду за рахунок турбуляції пограничного шару та оновлення поверхні контакту фаза, підтверджуються за результатами планування експерименту.

Висновки

1. Мембранні методи підготовки води є одними з найефективніших, що обумовило їх поширення в промислових установках.
2. Основною проблемою при експлуатації мембранних установок є явище концентраційної поляризації та утворення осадів на поверхні мембрани.
3. Існуючі методи регенерації дозволяють зменшити негативні наслідки утворення осадів, однак мають обмежену ефективність.
4. В попередній роботі [14] запропоновано метод регенерації мембранних модулів з використанням температурної кавітації.
5. Також в попередній роботі [14] було встановлено, що використання режиму пульсацій тиску підвищує ефективність проведення процесу. Однак не було визначено параметри пульсації та їх вплив на ефективність регенерації, що обумовлює актуальність подальших досліджень в цьому напрямку.

Література

1. Святцов А. А. Мембранные технологии в России / The Chemical Journal // Химический журнал. — 2010. — № 10. — С. 22–26.
2. Баладина А. Г., Хантльдин Р. И., Ибрагимов И. Г., Мартышева В. А. Развитие мембранных технологий и возможность их применения для очистки сточных вод предприятий химии и нефтехимии / Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2015. — № 5. — С. 336–370.
3. Kilgus M., Geper V., Dinges N., Merten C., Eigenberger G., Schiestel T. Palladium coated ceramic hollow fibre membranes for hydrogen separation. Desalination. — 2006. — pp. 95–96.
4. Тимашев С. Ф. Физикохимия мембранных процессов. М.: Химия, 1980. — 232 с.
5. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. Пер. с англ. М.: Мир, 1999. — 513 с.
6. Хант С. Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. Пер. с англ. М.: Химия, 1981. — 464 с.
7. Андриянов А. П. Исследование и оптимизация работы установок очистки воды методом ультрафильтрации: автореф. дис. — М.: МГСУ. — 2003. — 22 с.
8. Тверской В. А. Мембранные процессы разделения. Полимерные мембраны. М.: МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2008. — 59 с.
9. Орлов Н. С. Ультра- и микрофильтрация. Теоретические основы. М.: МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1990. — 174 с.
10. Диттерский Ю. И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. — 272 с.
11. Святцов А. А. Введение в мембранные технологии. М.: ДеЛи принт, 2007. — 280 с.
12. Хохлаева Е. А., Резник Я. Е. Водоподготовка / Под ред. д.т.н. С. Е. Беликова. — Москва: Издательский Дом «Аква-Терм», 2007. — С. 100–112. — 240 с.
13. Волков С. В., Шахов С. В., Антипов С. Т. Аппарат для ультрафильтрации и обратного осмоса (Патент SU1807883).
14. Гуліснюк С. В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. Процес регенерації рухомих мембранних модулів. Київ: НТУУ «КПІ». — 2016.
15. Baker R. W. Membrane technology and applications. — 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

16. Porter M. Handbook of industrial membrane technology. — Wastwood, New Jersey: Noyes publications. — 619 p.
17. Дытнерский Ю. И., Кочаров Р. Г., До Ван Дай. Некоторые закономерности процесса разделения бинарных растворов неорганических солей обратным осмосом. Теоретические основы химической технологии, 1975. Т. 9. № 1. — 26 с.
18. Орестов С. О., Мітченко Т. С. Фізикохімічні основи дії інгібіторів флуїдінгу мембран зворотного осмосу та шляхи їх оптимального використання / Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2013. № 2(12). С. 3–17.
19. Федоренко В. И. Ингибирование осодообразования в установках обратного осмоса / Серия Критические технологии. Мембраны. — 2003. — № 2. — С. 23–30.
20. Первов А. Г., Андрианов А. П., Телитченко Э. А. Влияние биогического загрязнения на работу обратноосмотических и ультрафильтрационных элементов / Серия Критические технологии. Мембраны. — 2004. — № 1. — С. 3–18.
21. Кочаров Р. Г. Основы технологического расчета мембранных аппаратов для разделения жидких смесей. Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. — 1982. — Вып. 122. — 39–51 с.
22. Духин С. С., Кочаров Р. Г., Гутierrez Л. Э. Р. Расчет селективности мембран при обратноосмотическом разделении многокомпонентных растворов электролитов с учетом межфазного скачка потенциала / Химия и технология воды, 1987, т. 9, № 2. — 99–103 с.
23. Ісєєв С. Д., Брик М. Т. Запобігання забрудненню і регенерація мембран, що використовуються в процесах водоочистки. Наукові записки. Том 21. Біологія та екологія. — 2003. — С. 50–58.
24. Gun T. Desalination. — 1989. — V. 71. — P. 325.
25. Garth S, Ron T. Food Technol. — 1991. — V. 45. — P. 98.
26. Ладугин К. В. Ультразвуковая очистка обратноосмотических мембран при обезвреживании фильтрата полигонов твердых бытовых отходов. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. Московский государственный машиностроительный университет. Москва. — 2015. — 98 с.
27. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. — М.: «Химия», 1978. — С. 176, 168. — 352 с.
28. Карелин Ф. Н. Обессоливание воды обратным осмосом. М: Стройиздат, 1988.
29. Кавицкая А. А. Химия и технология воды. — 1990. — Т. 12. — С. 875.
30. Ebrahim S., Malik A. Desalination. — 1987. — V. 66. — P. 201.
31. Кретов И. Т., Ахтинов С. Т., Шахов С. В., Ключников А. И. Чермушкина И. В., Рязанов А. Н. Мембранный аппарат с погружным фильтрующим элементом (Патент RU2148427).

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC JOURNAL
«INTERNAUKA»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ИНТЕРНАУКА»

№ 7 (47) / 2018
1 том

ISSN 2520-2057

// Международный научный журнал «Интернаука» // № 7 (47), 1 т., 2018

// Технические науки //

УДК 628.16.081

Гулієнко Сергій Валерійович

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри
машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гулиенко Сергей Валериевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры
машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Hulienko Serhii

PhD in Engineering, Senior Lecturer of Department of
Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Симан Іван Володимирович

магістрант кафедри машин та апаратів хімічних і
нафтопереробних виробництв
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Симан Иван Владимирович

магистрант кафедры машин и аппаратов химических и
нефтеперерабатывающих производств
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Syman Ivan

Master Degree Student of Department of
Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries of the
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПУЛЬСАЦІЇ
НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЛЬСАЦИИ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИИ МЕМБРАННЫХ МОДУЛЕЙ

DETERMINATION OF PULSATION PARAMETERS EFFECT
TO EFFECTIVITY OF MEMBRANE MODULE REGENERATION

Анотація. Проведено експериментальні дослідження щодо визначення параметрів пульсації на ефективність регенерації мембранних модулів. Встановлено, що ефективність регенерації (коефіцієнт регенерації) зростає зі збільшення маси промислового розчину, що набирається за один цикл регенерації, та кількості циклів, а також зменшується зі збільшенням тривалості витримки при розрідженні.

Ключові слова: мембранне розділення, концентраційна поляризація, опір, регенерація, осад.



Аннотация. Проведены экспериментальные исследования по определению параметров пульсации на эффективность регенерации мембранных модулей. Установлено, что эффективность регенерации (коэффициент регенерации) возрастает с увеличением массы промывочного раствора, что набирается за один цикл регенерации, и количества циклов, а также уменьшается с увеличением продолжительности выдержки при разрежении.

Ключевые слова: мембранное разделение, концентрационная поляризация, сопротивление, регенерация, осадок.

Summary. The experimental research for determination of effect of pulsation parameters on regeneration effectivity of membrane modules was carried out. It was defined that effectivity regeneration (coefficient of regeneration) increase with mass of cleaning solution which takes in one pulsation cycle and number of cycles increasing and decrease with execution time under subatmospheric pressure.

Key words: membrane separation, concentration polarization, resistance, regeneration fouling, scaling.

Вступ. Сьогодні у всьому світі мембранні методи очищення стічних вод вже не викликають сумнівів у своїй ефективності і конкурентоспроможності. Значна кількість закордонних компаній виробляють різноманітні мембрани, мембранні модулі і установки очищення природної і стічної води на їх основі. Широке використання мембранных методів у багатьох промислових процесах можливе завдяки тому, що властивості мембран можуть бути адаптовані до технічних вимог, задоволення яких потрібне для успішного проведення цих процесів [1–2].

В процесі зворотного осмосу з часом відбувається забруднення мембран осіданнями зважених часток і погано розчинних сполук. Це призводить до зниження питомої продуктивності мембранної поверхні. Причиною цього являється виникнення біля поверхні мембрани, з напірного боку, концентраційного поляризаційного шару, що перешкоджає проходженню фільтрату крізь мембрану [3]. Механічні і колоїдні частинки в таких умовах мають тенденцію до укрупнення і утворення агрегатів, які можуть відкладатися на мембрані, блокуючи її. Неконтрольований процес накопичення таких оса-

дів при неправильній експлуатації установок може швидко привести до безповоротного погіршення характеристик мембранных апаратів [4].

Існуючі методи очистки мембран недостатньо ефективні, тому було запропоновано використовувати пульсації [5], але вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації був розглянутий лише поверхнево.

Метою даного дослідження є встановлення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації. **Матеріали та методи.** Дослідження проводилося на мембранах Dow Filmtec. В якості промивного розчину використовувалася знесолена вода (загальний солеміст (TDS) — 10–25 ppm). В якості тестового розчину також використовувалася знесолена вода. Для перевірки селективності мембран використовувалася водопровідна вода (TDS — 190–225 ppm).

Для регенерації мембран використовувалася існуюча установка [5], схема якої зображена на рисунку 1. Для перевірки ефективності регенерації мембран використовувалася інша установка [5], схема якої зображена на рисунку 2.

Порядок проведення експериментальних досліджень був наступний. Мембранный модуль 7 встанов-

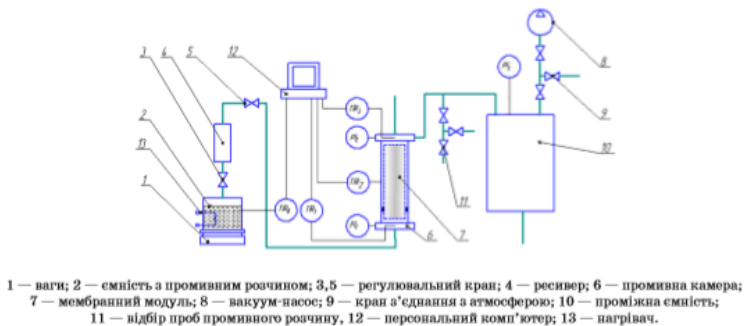


Рис. 1. Схема експериментальної установки для проведення регенерації

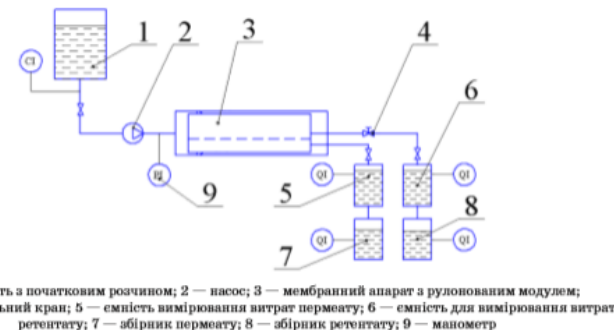


Рис. 2. Схема експериментальної установки для перевірки ефективності регенерації рулонних мембранных модулів

лювалася в промивну камеру 6, регулювальні крани 3 та 5 закривалися, вмикався вакуум-насос 8 і досягалася розрідженість в проміжній ємності 10 на рівні 0,092–0,098 МПа (абсолютний тиск становив 0,008–0,002 МПа відповідно). Промивний розчин із заданою концентрацією та температурою заливався в ємність 2. Після цього відкривалися регулювальні крани 3 та 5 і встановлювалася необхідна витрата промивного розчину. Під дією перепаду тиску в ємностях 2 та 10 здійснюється течія промивного розчину через промивну камеру 6 та мембранный модуль 7, в ході чого відбувається масообмін між твердою фазою шару осаду на поверхні мембрани та рідкою фазою промивного розчину. По черзі варіювалися кількість промивного розчину, час витримки та кількість пульсацій.

Питома продуктивність визначалася об'ємним методом, тобто вимірюванням витрат пермеату та ретентату за певний проміжок часу до та після регенерації.

Результати і обговорення. Результати експериментальних досліджень узагальнено шляхом роз-

рахування коефіцієнта регенерації і представлено на графіках.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від кількості промивного розчину зображено на рисунку 3. Параметри пульсації: число циклів пульсації $n_c = \text{const}$, тривалість витримки при розрідженні $\tau_r = \text{const}$ с, маса промивного розчину $m_i = 0,05–0,25$ кг.

Як видно з графіка, зі збільшенням кількості промивного розчину коефіцієнт регенерації зростає.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від часу витримки зображено на рисунку 4. Параметри пульсації: число циклів пульсації $n_c = \text{const}$, тривалість витримки при розрідженні $\tau_r = 30–150$ с, маса промивного розчину $m_i = \text{const}$.

Як видно з графіка, зі збільшенням часу витримки коефіцієнт регенерації зменшується.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації зображено на рисунку 5. Параметри пульсації: число циклів пульсації $n_c = 3–10$,

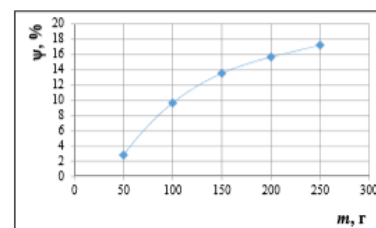


Рис. 3. Залежність коефіцієнта регенерації від кількості промивного розчину

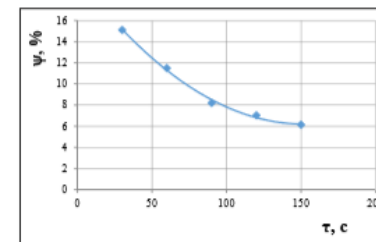


Рис. 4. Залежність коефіцієнта регенерації від часу витримки

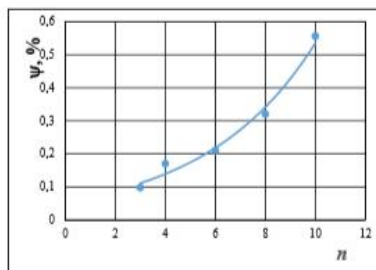


Рис. 5. Залежність коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації

тривалість витримки при розрідженні $\tau_r = \text{const}$, маса промивного розчину $M_r = \text{const}$.

Як видно з графіка, зі збільшенням числа циклів пульсації коефіцієнт регенерації зростає.

Висновки. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування пульсації підвищують ефективність регенерації мембранних модулів. Крім того, існує можливість підбирати найбільш раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні.

Література

1. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішко-ва-Кліменко, І. М. Астрелін. — К.: Лібра, 2000. — 552 с.
2. Муддер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 513 с. ил.
3. Shirazi S., Lin C.-J., Chen D. Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes — A critical review / Desalination. — 2010. — Vol. 250. — p. 236–248.
4. Орестов С. О. Міщенко Т. С. Фізикохімічні основи дії інгібіторів флуїдів мембран зворотного осмосу та шляхи їх оптимального використання // Вода і водочисні технології. Науково-технічні вісті. — 2013. — № 2(12). — с. 3–17.
5. Гулієнко С. В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к. т. н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ». — 2016. Гулієнко С. В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к. т. н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ». — 2016.
6. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності регенерації забруднених рулонованих мембранних модулів / Я. М. Корнієнко, С. В. Гулієнко, О. В. Григоренко // Наукові парці ОНАХТ. — 2014. — Випуск 45. — Т. 3 — с. 101–104.



Національний технічний університет України
 “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
 Інститут технічної теплофізики НАН України

Інститут Газу НАН України

ІТМО ім. А. В. Ликова АН РБ

Московський державний агроінженерний
 університет ім. В.П. Горячкіна

Грузинський технічний університет

Тверський державний технічний університет

**Збірник тез доповідей XI міжнародної
 науково-практичної конференції студентів,
 аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ
 ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ”**

06-07 грудня

Київ 2016

УДК 628.33

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БАРОМЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ

магістрант Симан І. В., д.х.н., доц. Кучерук Д.Д.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мембранна технологія – найбільш передова і перспективна технологія водопідготовки, характерною особливістю якої є майже повна відсутність використання реагентів (солей і кислот), стабільно висока якість очищеної води, компактність, екологічність, зручність експлуатації. Завдяки цьому мембранна фільтрація отримує все більшу популярність у побутовому та промисловому застосуванні.

Зворотній осмос являє собою один з найбільш популярних методів мембранного розділення. Він широко застосовується для знесолення (демінералізації) всіх типів води в установках різної потужності – від малих побутових до великих промислових. Мембрани зворотнього осмосу демонструють високу селективність відносно всіх іонів. Таким чином, цей метод можна розглядати як технологію знесолення води для абсолютно різних задач. Лідуюче положення цього методу зміцнюється в міру прогресу в техніці виготовлення мембран і додаткового обладнання [1].

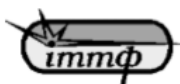
Зворотній осмос – технологія очищення води із застосуванням напівпроникних мембран. Розчинена речовина утримується під тиском з однієї сторони мембрани, в результаті чистий розчинник проходить на іншу сторону мембрани. Селективність мембран забезпечується здатністю затримувати великі молекули чи іони забрудників, проте вільно пропускати крізь пори менші за розміром молекули розчинника. Зворотній осмос використовується не тільки для видалення домішок, але й для концентрування систем. Застосування мембран з певним розміром пор дозволяє розділити дисперсну фазу на фракції за розмірами частинок і визначити ці розміри [2].

Інтенсивне виведення з передмембранного шару води з низьким вмістом розчинених солей супроводжується явищем концентраційної поляризації.

Негативний вплив цього явища на ефективність баромембранних процесів пов'язаний з тим, що пропорційно зростанню концентрації розчинених домішок в тонкому перед мембранним шарі зростає і осмотичний тиск розчину. В свою чергу, це призводить до зменшення значення різниці тисків – рушійної сили процесу. Внаслідок концентраційної поляризації в тонкому передмембранному шарі концентрація домішок стає достатньо високою, щоб призвести до утворення відкладень. Крім того, канали, по яким рухається вихідна вода, мають малу висоту, що призводить до дуже швидкого забиття цих каналів зваженими часточками [3]. В зв'язку з цим нам потрібно витучати осад з мембран. Тому процес регенерації мембран є дуже важливим.

Перелік посилань:

1. <http://omegaltd.com.ua/article/104.php>
2. **Рябчиков, Е. Б.** Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Е. Б. Рябчиков – М.: Де Ли Принт, 2004. – 301 с.
3. **Пантелеев, А. А.** Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке / А. А. Пантелеев, Б. Е. Рябчиков, О. В. Хоружий, С. Л. Громов. – М.: ДеЛи плюс, 2012. – 429 с.



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет

*Присвячено 75 річчю зі дня народження
професора Радченка Леоніда Борисовича*

**Збірник тез доповідей XII міжнародної
науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ”**

26-27 квітня
Київ 2017

Збірник тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

УДК 66.081.63

ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ КЕРАМІЧНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД НАФТОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

магістрант Симан І. В., д.х.н., доц. Кучерук Д. Д.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Відходи НПЗ, потрапляючи у водне середовище, негативно впливають на якість води і санітарні умови життя і водокористування населення. Забрудненість стічних вод нафтопереробних заводів залежить від складу перероблюваної нафти, профілю заводу, стану технологічного обладнання, правильності підключення установок до систем каналізації. В загальному випадку забруднення відбувається нафтопродуктами, солями, амонійним азотом, фенолами, сульфідами, парафінами. Зазвичай для очищення стічних вод НПЗ використовують адсорбцію. Але цей метод досить незручний через необхідність регенерувати сорбент і його високу вартість. [1]

В той час використовують керамічні мембрани для очищення від органічних сполук. У роботі [2] було досліджено очищення стічних вод від органічних забрудників на прикладі барвників (прямого червоного та брильянтового зеленого). Такі керамічні мембрани внаслідок великого середнього діаметра пор практично не затримують органічні речовини. Тому, з метою зменшення діаметра пор з вузьким розподілом їх за розміром, їх модифікували. Модифікаторами для таких мембран виступають гідроксокомплекси.

Випробування модифікованих керамічних мембран здійснювали на лабораторній баромембранній установці, що працювала в проточно-циркуляційному режимі. Розчин, що очищувався, протікав під тиском у режимі рециркуляції вздовж зовнішньої поверхні трубки та фільтрувався в її середину і виводився з неї з торцевого боку фільтра.

У роботі [3] показано, що динамічна мембрана, яка сформована при рН 4.8-5.0, складалася переважно з найдрібніших частинок гідроксокомплексів і виявляла свою затримуючу дію. Також результати експериментів показали, що підвищення робочого тиску від 0.4 до 1.2 МПа при концентрації прямого

Збірник тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

червоного у початковому розчині 295 мг/дм^3 (рН 9.0-9.2) і тривалості експерименту 2 години для мембрани, яка модифікована гідроксокомплексами Al^{+3} , виникало практично повне затримання аніонного барвника. Це можна пояснити електростатичним відштовхування між однойменно зарядженими аніонами барвника і поверхнею модифікуючого шару із гідроксокомплексів Al^{+3} , а також ущільненням структури додаткового затримуючого шару з асоціатів барвника на поверхні мембрани.[2]

Також були проведені експерименти зі збільшенням концентрації барвників у вихідному розчині і зі збільшенням часу проведення експерименту. Було показано, що модифікована керамічна мембрана за певних умов практично повністю затримує прямий червоний. Затримуюча здатність модифікованої керамічної мембрани до брильянтового зеленого має дещо складніший характер, який можна пояснити поєднанням стеричного та зарядового механізмів при рН 5.0-7.5 і адсорбційною взаємодією при рН > 7.5.[2]

Ефективність використання керамічних мембран для очищення стічних вод від барвників дозволяє висунути припущення про перспективи використання цих мембран для очищення стічних вод нафтопереробних заводів, однак систематичних досліджень в цьому напрямку не проводилось. Тому такі дослідження на сьогодні є актуальними.

Перелік посилань

1. Ластовкина Г.А., Радченко Е. Д., Рудина М.Г. Справочник нефтепереработчика. – Л.: Химия, 1986. – 648 с., ил.
2. Дюльнева Т. Ю., Чіркова К. М., Кучерук Д. Д., Гончарук В.В. Очищення води від барвників модифікованими керамічними мембранами з глинистих мінералів // Доповіді національної академії наук України. – 2016. – 1. – с. 110-116.
3. Кучерук Д.Д. Динамические мембраны из гидроксополимеров алюминия // Химия и технология воды. – 1991. – 13, №7. – С.664-669.



**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

**Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет**

**Збірник тез доповідей XIII міжнародної
науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених**

**"РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ"**

29-30 листопада
Київ 2017

ОСОБЛИВОСТІ МАСООБМІНУ ПРИ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ РЕЖИМІ

студент Симан І. В., ст. викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В сучасних умовах при застосуванні баромембранних технологій підготовки питної та технологічної води виникають суттєві проблеми з регенерацією мембран. Утворений осад внаслідок концентраційної поляризації при робочих тисках більше 0,6 МПа має щільну структуру з мікрокристалів мінеральних речовин, на поверхні яких може утворюватися плівка з гумінових та інших органічних речовин. В цьому випадку швидкість масообміну при розчиненні осаду визначається молекулярною дифузією перенесення речовини від твердого тіла до рідкого середовища, а також доступною поверхнею масообміну.

На практиці застосовується очищення мембран при втраті їх продуктивності на 10–15%. Конструктивні особливості мембранного модуля зумовлюють рух промивного розчину тільки в ламінарному режимі. Тому очищення мембран проводиться із застосуванням високоактивних хімічних розчинників протягом тривалого часу, що має негативний вплив на пористу структуру мембрани і погіршує її роздільні та фізико-механічні властивості. Окрім того, виникає проблема з утилізацією утворених промивних розчинів. [1]

У роботі [1] було запропоновано проводити регенерацію мембранних модулів за допомогою температурної кавітації та пульсації. Дослідження проводилися в діапазоні зміни приведенного критерію Рейнольдса в межах [0,4–60], та критерію Шмідта в межах [867–2824]. Було отримане критеріальне рівняння, яке адекватно описує масообмін у стиснених умовах при видаленні осаду, утвореного внаслідок концентраційної поляризації із застосуванням температурної кавітації ($p_k = \text{const}$) у рулонованих мембранних модулях у діапазоні зміни приведенного числа Рейнольдса [0,4–60].

$$Sh = 0.394 Re^{0.84} Sc^{0.33} \frac{d_e}{L}, \quad (1)$$

Де d_e - еквівалентний діаметр напірного каналу мембранного модуля, м; L – довжина каналу, м.

Для інтенсифікації процесу регенерації було запропоновано проводити процес з пульсаціями. Експериментальні дослідження за методом планування експерименту показали, що для режиму періодичного підвищення тиску спостерігаються більші значення коефіцієнта регенерації, зокрема при нульовому рівні значущих параметрів для випадку періодичного підвищення тиску величина коефіцієнта регенерації збільшилася в 1,6 разів, порівняно з режимом промивання при сталому розрідженні. [1]

Вищі значення коефіцієнтів регенерації при пульсаційному режимі свідчить про те, що інтенсивність масообміну в цьому режимі вища. Однак критеріальне рівняння (1) було отримане для випадку усталеної течії, а отже не може бути використане для опису масообміну в режимі пульсації. Тому воно потребує модифікації і для такого випадку буде мати вигляд:

$$Sh = \varepsilon_p Re^n Sc^m \frac{d_e}{L}, \quad (2)$$

де ε_p - коефіцієнт, який враховує вплив пульсації.

Значення коефіцієнту ε_p та показників показники степенів n та m необхідно визначити експериментально. Враховуючи, що умови геометричної та фізичної подібності залишаються незмінними, доцільно використати ті ж самі показники степенів, що і в рівнянні (1).

Планується проведення експериментів для визначення значення коефіцієнта ε_p від параметрів пульсації, зокрема від частоти та тривалості пульсації.

Перелік посилань:

1. Korniyenko Y., Gulienko S., Lialka M. Mathematical simulation of fouled modules regeneration // Ukrainian Food Journal. – 2015. – Volume 4 – P. 481–493.



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет

**Збірник тез доповідей XIV міжнародної
науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ”**

23-25 квітня
Київ 2018

Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених ”Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання”

УДК 66.081.63

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ РЕЖИМІ

студент Симан І. В., ст. викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Найперспективнішим методом очистки мембранних модулів є гідравлічний метод який не потребує ні хімічних компонентів які в подальшому повинні бути утилізовані, ні механічного втручання яке може зруйнувати поверхню мембрани. Але цей метод має невелику інтенсивність, що і є основним недоліком, покращити ефективність цього способу очищення можна використавши вакуумування та явище гідродинамічної кавітації [1]. Також пульсації тиску додатково інтенсифікують масообмін між промивним розчином і осадам, але параметри пульсації вивчені поверхнево і потребують більш детального експериментального дослідження .

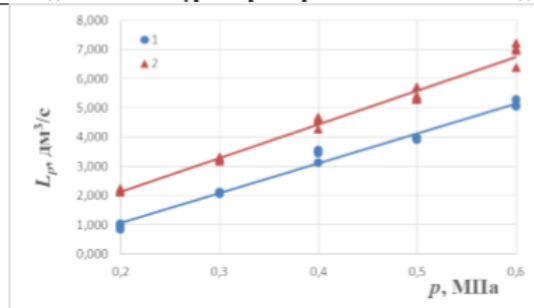
Ці дослідження були проведені на прикладі мембрани Dow Filmtec з наступними параметрами пульсації: число циклів пульсації $n_c=10$, тривалість витримки при розрідженні $t_r=90$ с, маса промивного розчину $m_r=0,05$ кг. (рисунок 1).

Як видно з графіка, після регенерації, з відомими параметрами пульсації, відбулося зростання продуктивності мембрани на 55,6% (коефіцієнт регенерації $\psi=0,556$).

Крім того було встановлено, що зі збільшенням числа циклів пульсації ефективність регенерації збільшується, як показано на рисунку 2.

Також було встановлено, зі збільшенням кількості промивного розчину ефективність регенерації також збільшується. Кількість промивного розчину, що використовувалась варіювалась від 50 г до 250 г.

Час витримки впливає на регенерацію навпаки. Зі збільшенням часу витримки під розрідженням, ефективність регенерації зменшувалась.



1 – продуктивність мембранного модуля до регенерації;

2 – продуктивність мембранного модуля після регенерації

Рисунок 1 – залежності продуктивності мембрани від робочого тиску

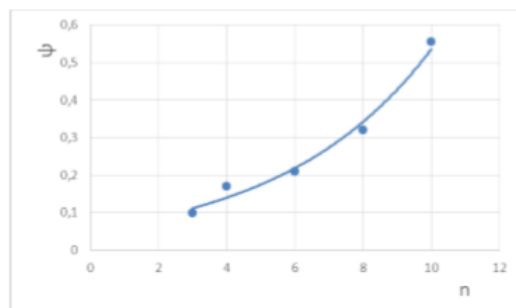


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування пульсацій підвищують ефективність регенерації мембранних модулів. Крім того, існує можливість підбирати найбільш раціональні режими проведення процесу регенерації.

Перелік посилань:

1. Korniyenko Y., Guliienko S., Lialka M. Mathematical simulation of fouled modules regeneration // Ukrainian Food Journal. – 2015. – Volume 4 – P. 481–493.

ДОДАТОК Д
РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ

Д.1 Визначення похибок прямих вимірювань

Прямим вимірюванням підлягали вимірювання маси, часу, концентрації, температури, тиску об'єму пермеату. Величини, що підлягали вимірюванню, прилади та параметри точності вимірювання наведені в таблиці Д.1.

Таблиця Д.1 – Характеристики вимірювальних приладів

Назва величини	Назва приладу	Одиниця вимірювання	Границі вимірювання	Одиниця молодшого розряду	Гранична допустима похибка приладу, %
Маса	Ваги	кг	0-30	0,005	$\pm 0,02$
Час	Секундомір	с	0-60	0,01	$\pm 0,02$
Концентрація	TDS-метр	ppm (мг/дм ³)	0-9990	1	± 2
Температура	Термопара ХК	°С	0-50	0,1	$\pm 0,02$
Розрідження	Вакуумметр	МПа	-0,1-0	0,0005	$\pm 0,5$
Об'єм	Мірний циліндр	мл.	0-250	2	$\pm 0,8$

Довірчий інтервал шуканої величини визначався з ймовірністю $\alpha = 0,95$ (ступінь ризику $p = 0,05$). Результати записувались у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta_{\Sigma} \quad (\text{A.1})$$

де \bar{x} – середнє арифметичне значення величини;

Δ_{Σ} – значення абсолютної похибки вимірювання, залежить від умов проведення експерименту та складається з суми систематичної та раптової похибок.

При цьому враховувалося, що зменшення раптової похибки Δ_p до значення меншого 1/3 величини сумарної систематичної похибки є недоцільним.

Д.1.1 Визначення похибок прямих вимірювань концентрації

Результати вимірювань концентрації наведені в таблиці Д.2

Таблиця Д.2 – Результати вимірювань концентрації

№ досліду	Значення величини,	$(\bar{x} - x_i)^2$
1	251	0
2	252	1
3	250	1
4	251	0
5	250	1
6	252	1
	$\bar{x} = 251$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 4$

Визначаємо середньоквадратичну похибку прямого вимірювання:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4}{6-1}} = 0,8944$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{1}{3} = 0,333$$

Визначається довірчий інтервал, виражений в долях середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{0,333}{0,8944} = 0,3723$$

Розраховуємо сумарну похибку результату прямого вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha n} \frac{S}{\sqrt{n}} = 1 + 2,6 \frac{0,8944}{\sqrt{6}} = 1,949$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента, для імовірності 0,95 і кількості вимірювань $n=6$ $t_{\alpha n} = 2,6$.

Дійсне значення концентрації можна записати:

$$C = \bar{C} \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{C} \pm 1,949 \text{ мг/дм}^3$$

Д.1.2 Визначення похибок прямих вимірювань маси

Результати вимірювань маси наведені в таблиці Д.3

Таблиця Д.3 – Результати вимірювань маси

№ досліду	Значення величини,	$(\bar{x} - x_i)^2$
1	0,66	0,00001838
2	0,65	0,0002041
3	0,68	0,0002469
4	0,69	0,0006612
5	0,66	0,00001838
6	0,65	0,0002041
7	0,66	0,00001838
	$\bar{x} = 0,6649$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,001371$

Визначаємо середньоквадратичну похибку прямого вимірювання:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,001371}{7-1}} = 0,01512$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,005}{3} = 0,001667$$

Визначається довірчий інтервал, виражений в долях середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{0,001667}{0,01512} = 0,1102$$

Розраховуємо сумарну похибку результату прямого вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha n} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,005 + 2,4 \frac{0,01512}{\sqrt{7}} = 0,01871$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента, для імовірності 0,95 і кількості вимірювань $n=7$ $t_{\alpha n} = 2,4$.

Дійсне значення маси можна записати:

$$M = \bar{M} \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{M} \pm 0,01871 \text{ кг.}$$

Д.1.3 Визначення похибок прямих вимірювань температури

Результати вимірювань температури наведені в таблиці Д.4

Таблиця Д.4 – Результати вимірювань температури

№ досліду	Значення величини,	$(\bar{x} - x_i)^2$
1	13	0
2	12,8	0,04
3	12,6	0,16
4	13	0
5	13,1	0,01
6	13,1	0,01
7	13,4	0,16
8	13	0
	$\bar{x} = 13$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,38$

Визначаємо середньоквадратичну похибку прямого вимірювання:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,38}{8-1}} = 0,2330$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,1}{3} = 0,03333$$

Визначається довірчий інтервал, виражений в долях середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{0,0333}{0,2330} = 0,1431$$

Розраховуємо сумарну похибку результату прямого вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha n} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,1 + 2,4 \frac{0,2330}{\sqrt{8}} = 0,2077$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента, для імовірності 0,95 і кількості вимірювань $n=8$ $t_{\alpha n} = 2,4$.

Дійсне значення температури можна записати:

$$t = \bar{t} \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{t} \pm 0,2077 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Д.1.4 Визначення похибок прямих вимірювань тиску

Результати вимірювань тиску на виході з мембранного модуля наведені в таблиці Д.6

Визначаємо середньоквадратичну похибку прямого вимірювання:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,000004}{8-1}} = 0,0007559$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,0005}{3} = 0,0001667$$

Визначається довірчий інтервал, виражений в долях середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{0,0001667}{0,0007559} = 0,2205$$

Розраховуємо сумарну похибку результату прямого вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha n} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,005 + 2,4 \frac{0,0007559}{\sqrt{8}} = 0,001141$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента, для імовірності 0,95 і кількості вимірювань $n=8$ $t_{\alpha n} = 2,4$.

Таблиця Д.6 – Результати вимірювань тиску на виході з мембранного модуля

№ досліду	Значення величини,	$(\bar{x} - x_i)^2$
1	0,092	$1,562 \cdot 10^{-6}$
2	0,09	$5,625 \cdot 10^{-7}$
3	0,091	$6,25 \cdot 10^{-8}$
4	0,091	$6,25 \cdot 10^{-8}$
5	0,091	$6,25 \cdot 10^{-8}$
6	0,091	$6,25 \cdot 10^{-8}$
7	0,0895	$1,562 \cdot 10^{-6}$
8	0,0905	$6,25 \cdot 10^{-8}$
	$\bar{x} = 0,09075$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,000004$

Дійсне значення тиску можна записати:

$$P_2 = \bar{P}_2 \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{P}_2 \pm 0,001141 \text{ МПа.}$$

Д.1.4 Визначення похибок прямих вимірювань часу

Результати вимірювань часу наведені в таблиці А.8

Визначаємо середньоквадратичну похибку прямого вимірювання:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,2691}{10-1}} = 0,1728$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,01}{3} = 0,003333$$

Таблиця Д.8 – Результати вимірювань часу

№ досліду	Значення величини,	$(\bar{x} - x_i)^2$
1	120,6	0,03423
2	120,41	$2,5 \cdot 10^{-5}$
3	120,56	0,02103
4	120,6	0,03422
5	120,07	0,1190
6	120,41	$2,5 \cdot 10^{-5}$
7	120,22	0,03802
8	120,32	0,009025
9	120,53	0,01322
10	120,43	0,000225
	$\bar{x} = 120,415$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,2691$

Визначається довірчий інтервал, виражений в долях середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{0,003333}{0,1728} = 0,01928$$

Розраховуємо сумарну похибку результату прямого вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha n} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,1 + 2,3 \frac{0,1728}{\sqrt{10}} = 0,1357$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента, для імовірності 0,95 і кількості вимірювань $n=10$ $t_{\alpha n} = 2,3$.

Дійсне значення часу можна записати:

$$\tau = \bar{\tau} \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{\tau} \pm 0,1357 \text{ с.}$$

Д.1.5 Визначення похибок прямих вимірювань об'єму

Результати вимірювань об'єму пермеату в таблиці А.9

Визначаємо середньоквадратичну похибку прямого вимірювання:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3,65 \cdot 10^{-11}}{10-1}} = 2,014 \cdot 10^{-6}$$

Таблиця Д.9 – Результати вимірювань об'єму пермеату

№ досліду	Значення величини,	$(\bar{x} - x_i)^2$
1	$2,41 \cdot 10^{-4}$	$6,25 \cdot 10^{-12}$
2	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$1,225 \cdot 10^{-11}$
3	$2,37 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-12}$
4	$2,37 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-12}$
5	$2,37 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-12}$
6	$2,38 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$
7	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-12}$
8	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$
9	$2,41 \cdot 10^{-4}$	$6,25 \cdot 10^{-12}$
10	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-12}$
	$\bar{x} = 2,385 \cdot 10^{-4}$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 3,65 \cdot 10^{-11}$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{3} = 6,667 \cdot 10^{-7}$$

Визначається довірчий інтервал, виражений в долях середньоквадратичної похибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{6,667 \cdot 10^{-7}}{2,014 \cdot 10^{-6}} = 0,331$$

Розраховуємо сумарну похибку результату прямого вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha n} \frac{S}{\sqrt{n}} = 2 \cdot 10^{-6} + 2,3 \frac{2,014 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{10}} = 3,465 \cdot 10^{-6}$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента, для імовірності 0,95 і кількості вимірювань $n=10$ $t_{\alpha n} = 2,3$.

Дійсне значення об'єму пермеату можна записати:

$$V_p = \bar{V}_p \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{V}_p \pm 3,465 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Д.2 Визначення похибок непрямих вимірювань

Непрямим вимірюванням підлягають вимірювання швидкості руху рідини в каналах мембрани та коефіцієнт масовіддачі.

У випадку, коли невідома величина є функцією двох або більшої кількості незалежно змінюваних величин $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, абсолютне значення похибки визначаємо за залежністю:

$$\Delta Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \Delta_{\Sigma i} \right)^2} \quad (\text{A.2})$$

де $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ часткова похідна по змінній X_i , сумарна абсолютна похибка якої дорівнює $\Delta_{\Sigma i}$.

Д.2.1 Визначення похибок непрямих вимірювань об'ємних витрат пермеату

Об'ємна витрата пермеату визначається за результатами вимірювань визначається за формулою:

$$J_p = \frac{V_p}{\tau} \quad (\text{A.6})$$

Тоді похибка вимірювання об'ємних витрат пермеату становитиме:

$$\begin{aligned} \Delta J_p &= \sqrt{\left(\frac{\partial J_p}{\partial V_p} \Delta_{\Sigma V_p} \right)^2 + \left(\frac{\partial J_p}{\partial \tau} \Delta_{\Sigma \tau} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{\tau} \Delta_{\Sigma V_p} \right)^2 + \left(-\frac{V_p}{\tau^2} \Delta_{\Sigma \tau} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{120,41} \cdot 3,465 \cdot 10^{-6} \right)^2 + \left(-\frac{2,385 \cdot 10^{-4}}{120,41^2} \cdot 0,1358 \right)^2} = \\ &= 2,886 \cdot 10^{-8} \end{aligned}$$

Отже результат визначення об'ємних витрат пермеату запишемо:

$$J_p = \bar{J}_p \pm \Delta J_p = \bar{J}_p \pm 2,886 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}.$$

ДОДАТОК Е

СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ